PLANTA DE OLIGOMERIZACIÓN DE BUTANO OLEFÍNICO

Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidad de Santiago de Compostela

Escola técnica Superior de Enxeñaría

Junio 2019

Julio Sequeiros Fernández y Iago Vaamonde López

En colaboración con:

REPSOL

ÍNDICE GENERAL

- DOCUMENTO I. Memoria
  - Anexo I. Balances de materia y energía
  - Anexo II. Cálculos justificativos
  - Anexo III. Calores específicos
  - Anexo IV. Índice DOW de Fuego y Explosión
  - Anexo V. Códigos implementados en Matlab
  - Anexo VI. Propuesta de reutilización de equipos
  - Anexo VII. Análisis de viabilidad económica
  - Anexo VIII. Fichas de seguridad[1]
- DOCUMENTO II. Planos
  - Plano 1.A. Situación
  - Plano 1.B/1.C. Emplazamiento
  - Plano 2.A./2.B. Implantación
  - Plano 3. Diagrama de flujo (PFD)
  - Plano 4. Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID)
  - Plano 5. Construcción R-101
  - Plano 6. Construcción T-202
- DOCUMENTO III. Estudios con entidad propia[2]
- DOCUMENTO IV. Pliego de condiciones[3]
- DOCUMENTO V. Presupuesto

[1] Las fichas de seguridad completas se presentarán sólo en la versión digital.
[2] El Estudio Básico de Seguridad y Salud se presentará sólo en la versión digital
[3]El Pliego de condiciones se presentará sólo en la versión digital

DOCUMENTO I MEMORIA

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Índice

1. Introducción 4
1.1. Objeto 4
1.2. Alcance 4
1.3. Capacidad 5
2. Legislación, normas y códigos de aplicación 5
2.1. Legislación 5
2.1.1 Ámbito europeo (Directivas y Reglamentos) 5
2.1.2 Ámbito nacional 6
2.2. Códigos y normas de diseño 6
3. Complejo Industrial REPSOL A Coruña 6
3.1. Localización 6
3.1.1 Refinería 8
3.1.2 Terminal marítimo 8
3.2. Instalaciones del C.I. de A Coruña 9
3.2.1 Refinería 9
3.2.2 Instalaciones auxiliares 12
3.2.3 Terminal marítimo de San Diego 13
3.2.4 Oleoducto 13
4. Integración del proceso en la Refinería 13
5. Alimentación 14
6. Productos 15
6.1. GLP 15
6.2. Gasolinas 15
6.3. Destilados medios 16
6.3.1 Gasoil 16
6.3.2 Queroseno 16
7. Análisis de mercado 16
7.1. Introducción 17
7.2. Contexto energético y la importancia del crudo de petróleo 17
7.2.1 Consumo y producción global de energía 17
7.2.2 Producción, consumo y precios del crudo de petróleo 18
7.2.3 Oferta, demanda y equilibrio oferta-demanda 20
7.2.4 Conclusiones 21

7.3. Mercado de derivados del petróleo 21
7.3.1 Mercado Gasolina 22
7.3.2 Mercado Gasoil 24
7.3.3 Mercado Queroseno 27
7.3.4 Mercado GLP 28
7.4. Dinámica del mercado gasolina/diésel 29
7.5. Transición energética y previsiones de futuro 32
7.5.1 IMO 2020 33
8. Análisis de alternativas 33
8.1. Introducción 33
8.2. Alquilación directa 34
8.2.1 Reacción 34
8.2.2 Situación en refinería 35
8.2.3 Proceso de alquilación 35
8.2.4 Catalizadores 36
8.2.5 Tecnologías alquilación 37
8.2.6 Resumen tecnologías de alquilación 41
8.3. Alquilación indirecta 41
8.3.1 Reacción 41
8.3.2 Situación en refinería 42
8.3.3 Proceso de alquilación indirecta 42
8.3.4 Tecnologías de alquilación indirecta 43
8.4. Oligomerización 44
8.4.1 Reacción 45
8.4.2 Situación en refinería 46
8.4.3 Proceso de oligomerización 46
8.4.4 Tecnologías de oligomerización 47
8.4.5 Resumen tecnologías de oligomerización 49
8.5. Justificación de la tecnología seleccionada 49
8.6. Valoración económica de la alternativa seleccionada 49
8.6.1 Comparación: Caso base y Oligomerización 49
8.6.2 Conclusiones 50
9. Descripción del proceso 50
10. Descripción de equipos 52
10.1. Listado de equipos 52
10.2. Equipos 53

11. Control e instrumentación 55
11.1. Introducción 55
11.1.1 Terminología de control 55
11.1.2 Identificación de lazos de control 56
11.2. Control del caudal de *Raffinate* 57
11.3. Control del reactor R-101 57
11.4. Control de la columna de destilación T-202 60
11.5. Control del depósito Flash V-201 65
11.6. Control del depósito V-101 66
11.7. Secuencia de enclavamiento No. 1 (S.E. No. 1) 67
12. Seguridad en diseño y operación 67
12.1. Normativa aplicable 68
12.2. Inventario de sustancias 68
12.3. Clasificación de la instalación 72
12.4. Identificación de peligros 72
12.4.1 Estudio de reactividad descontrolada 72
12.4.2 Clasificación NFPA 73
12.4.1 Matriz de incompatibilidades 75
12.5. Evaluación del riesgo 77
12.5.1 Índice DOW de fuego y explosión 77
12.6. Distancias de seguridad 78
13. Bibliografía 79

1. Introducción

1.1. Objeto

El objeto del presente proyecto, propuesto en colaboración con la empresa REPSOL, es la implantación del Proceso de Oligomerización en la Unidad de [redacted] del Complejo Industrial Repsol Petróleo de A Coruña, con la finalidad de reconvertir una corriente de butano olefínico de difícil comercialización en productos de mayor valor añadido (Gas Licuado de Petróleo, gasolina y destilado medio).

Para la adaptación de la zona de [redacted] al proceso de oligomerización se propone la reutilización de una serie de quipos ya existentes en la unidad, con el propósito de minimizar la inversión y desarrollar un proyecto atractivo para la empresa.

Los objetivos de diseño del proyecto son:

- El diseño de un proceso de revalorización de un producto fuera de especificación comercial, encuadrado dentro del sector petroquímico con aplicación real a una refinería ya en funcionamiento.
- Diseño riguroso de dos equipos principales del proceso,
    - Zona de reacción, Iago Vaamonde López
    - Zona de separación, Julio Sequeiros Fernández

Mediante la realización de este proyecto de diseño de una "Planta de Oligomerización de butano olefínico", los estudiantes Julio Sequeiros Fernández y Iago Vaamonde López optan al título de Graduado en Ingeniería Química por la Universidad de Santiago de Compostela.

1.2. Alcance

El proyecto en cuestión se sitúa dentro de la fase de Ingeniería Básica, fase inicial de desarrollo que tiene por objeto definir las líneas básicas del proyecto para profundizar en posteriores etapas de detalle. Al encuadrarse en fases tempranas de desarrollo, el alcance del mismo es limitado, y abarcará los siguientes puntos:

- Selección de la alternativa tecnológica más conveniente
- Análisis de viabilidad técnica y económica preliminar del proyecto
- Desarrollo de balances de materia y energía del proceso
- Descripción del proceso
- Localización de la instalación
- Selección de la estrategia de control para los equipos del proceso
- Análisis de seguridad operacional
- Diseño de dos equipos principales, situados en diferentes zonas del proceso
- Elaboración de los planos del proyecto: plano de situación, plano de emplazamiento, plano de implantación, diagrama de flujo, diagrama de tuberías e instrumentación, diagrama de construcción de los equipos de diseño riguroso
- Estudios con entidad propia
- Elaboración de un presupuesto del proyecto con un análisis de viabilidad económica

Todos los puntos tratados se desarrollarán acorde a la legislación vigente, códigos y normas de aplicación desarrolladas por las principales organizaciones de estandarización en el campo de la ingeniería.

1.3. Capacidad

La implantación del proceso de oligomerización está pensada para oligomerizar el butano olefínico tras haber pasado por la Unidad de [redacted]. Por esta razón, durante todo el proyecto la corriente de alimentación será referida como *Raffinate* [redacted] ("Refinado de [redacted]"), adecuándose a la jerga utilizada en la refinería de A Coruña.

Al tratarse de una corriente de alimentación procedente de una unidad de la refinería *upstream*, la capacidad de la Unidad de Oligomerización se encuentra preestablecida en **13,8 t/h de *Raffinate*** [redacted], valor proporcionado por Repsol durante operación normal.

2. Legislación, normas y códigos de aplicación

2.1. Legislación

2.1.1 Ámbito europeo (Directivas y Reglamentos)

- PARLAMENTO EUROPEO. DIRECTIVA 2012/18/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 4 de julio de 2012, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE (DO L 197 de 24.7.2012, pp. 1-37).
- PARLAMENTO EUROPEO. DIRECTIVA 2006/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de mayo de 2006 relativa a las máquinas y por la que se modifica la directiva 95/16/CE. Diario Oficial de la Unión Europea, 9 de junio de 2016, L 156/24.
- PARLAMENTO EUROPEO. REGLAMENTO (CE) N° 1907/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 18 de diciembre de 2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) n° 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1488/94 de la Comisión así como la directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea, 30 de diciembre de 2006, L 396/1
- PARLAMENTO EUROPEO. REGLAMENTO (CE) N° 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) n° 1907/2006. Diario Oficial de la Unión Europea, 31 de diciembre de 2008, L 353/1.
- PARLAMENTO EUROPEO. DIRECTIVA 2009/119/CE DEL CONSEJO, de 14 de septiembre de 2009, por la que se obliga a los Estados miembros a mantener un nivel mínimo de reservas de petróleo crudo o productos petrolíferos, L 265/9.
- PARLAMENTO EUROPEO. DIRECTIVA 2009/73/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y por la que se deroga la Directiva 2003/55/CE, L 211/94.
- PARLAMENTO EUROPEO. REGLAMENTO (UE) 2017/1938 DEL PARLAMENTO EUROPERO Y DEL CONSEJO, de 25 de octubre de 2017, sobre medidas para garantizar la seguridad del suministro de gas y por el que se deroga el Reglamento (UE) n° 994/2010.

2.1.2 Ámbito nacional

- GOBIERNO DE ESPAÑA. Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas. Boletín Oficial del Estado, 27 de enero de 1995, núm. 23, pp. 2.591-2.267.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. Boletín Oficial del Estado, 17 de diciembre de 2004, núm. 303, pp. 41.194-41.255.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia. Boletín Oficial del Estado, nú. 72, pp. 12.841-12.850.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. Boletín Oficial del Estado, 5 de febrero de 2009, núm. 31, sec. I, pp. 12.297-12.388.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. Boletín Oficial del Estado, 20 de octubre de 2015, núm. 251, sec. I, pp. 97.531-97.567.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. Real Decreto 108/2016, de 18 de marzo, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los recipientes a presión simples. Boletín Oficial del Estado, 22 de marzo de 2016, núm. 70, sec. I pp. 21.195-21.224.
  GOBIERNO DE ESPAÑA. Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10. Boletín Oficial del Estado, 25 de julio de 2017, núm. 176, sec. I, pp. 65.747-65.956.

2.2. Códigos y normas de diseño

- AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. DOW's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide. 7ª Edición, AICHE technical manual. 1994.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries. Part I – Sizing and Selection. 7ª Edición. 2000.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Boiler and Pressure Vessel Code. Section VII. Division 1. Rules for Construction of Pressure Vessels. 2010.
- GE GLOBAL ASSET PROTECTION SERVICES. GAP Guidelines: GAP 2.5.2. 2001
- ISA SECCIÓN USC. RESUMEN DEL STANDARD ANSI/ISA-5.1: IDENTIFICACIÓN Y SÍMBOLOS DE INSTRUMENTACIÓN. 2018

3. Complejo Industrial REPSOL A Coruña

3.1. Localización

El Complejo Industrial de Repsol A Coruña está situado entre los municipios de A Coruña y Arteixo, provincia de A Coruña, Galicia, España. En la Figura 3.1 se muestra un mapa de la Península Ibérica con el municipio de A Coruña señalado.



Figura 3.1 Vista desde satélite de la Península Ibérica con A Coruña señalada. Fuente: [1]

El municipio de A Coruña, situado en el noroeste de la provincia con el mismo nombre, cuenta con una extensión de 37,83 km^2 [1]. Dado que se trata de una península, limita con el Océano Atlántico por el Oeste y el Norte, mientras que al Este se encuentra la Ría de A Coruña. El istmo, situado en el sur del municipio, une la península con el resto de la provincia.

El Complejo está constituido por la zona de Refinería y la zona del Terminal Marítimo, situado en el puerto de A Coruña. Ambas instalaciones se conectan a través de un oleoducto de 6,5 km de longitud [3]. En la Figura 3.2 se pueden observar las zonas del complejo conectadas por el oleoducto.

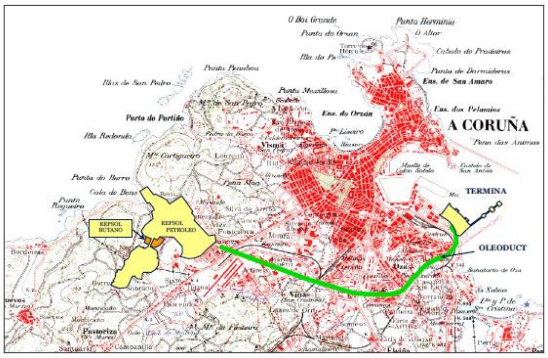


Figura 3.2 Complejo Industrial de A Coruña

Para comprender los motivos de su actual ubicación habría que proponer a estudio la situación socioeconómica del entorno alrededor del año 1961, cuando las compañías Marathon Oil Company y PETROLIBER iniciaron los planes para la construcción de una refinería de petróleo en el norte de España. Finalmente, el 11 de septiembre de 1964 se puso en marcha la primera planta con un esquema simple de refinería *hydroskimming*. La decisión de haber situado seleccionado la zona de A Coruña para la implantación de la refinería se puede considerar un pleno acierto, puesto que el complejo se ha sometido a continuas ampliaciones a lo largo de las décadas (70 hectáreas en su inauguración) con continuos incrementes de la capacidad de producción hasta situarse como referente de calidad mundial, y un recurso inestimable para Galicia y para España [3].

De la misma forma que ocurre con las refinerías de Repsol de Cartagena, Tarragona o Bilbao, la cercanía al mar permite una rápida salida de materias primas y productos mediante transporte marítimo en grandes buques cargueros, lo que es un factor clave a la hora de decidir el emplazamiento de las plantas.

Otros factores importantes a tener en cuenta en esta decisión incluyen:

- Disponibilidad de materias primas.
- Mercado del producto.
- Vías de transporte cercanas (refinería situada justo al lado de la carretera N-550)

- Servicios básicos.
- Disponibilidad de mano de obra.
- Necesidad de espacio y distribución en planta.
- Factores climáticos.

Como el complejo lleva construido más de 50 años, no se profundizará más en la justificación de su localización.

3.1.1 Refinería

La Refinería está situada entre los valles de Bens y Nostián, aproximadamente a 3 kilómetros de la ciudad de A Coruña y contando con una extensión de 150 hectáreas actualmente [3].

En la Figura 3.3 se muestra la vista por satélite de la zona de la refinería. Los datos descriptivos de la parcela se recogen en la Tabla 3.1, recogidos de la sede electrónica del Catastro.

Tabla 3.1 Datos descriptivos de la parcela de la Refinería Repsol de A Coruña. Fuente: [4]

Referencia catastral	4806502NJ4050S0001AY
Localización	LG BENS 2(D) 15191 A CORUÑA (A CORUÑA)
Clase	Características especiales
Uso principal	RDL 1/04 8.2.a
Superficie construida	40.086 m^2
Año de construcción	1964



Figura 3.3 Vista desde satélite de la Refinería Repsol de A Coruña. Fuente: [2]

Para un mayor grado de detalle, en el Documento II se ofrece el Plano de situación (1.A) y Emplazamiento (1.B) de la refinería en una resolución de mejor calidad, con identificación de parcela, principales accidentes geográficas, carreteras, edificios, etc.

3.1.2 Terminal marítimo

Las instalaciones del Terminal Marítimo están en el Puerto de A Coruña. En la Figura 3.4 se muestra una vista esquemática del terminal con la identificación de los atraques para los buques.

Información no disponible en la versión pública.

Figura 3.4 Terminal marítimo de Repsol en el puerto de A Coruña.

3.2. Instalaciones del C.I. de A Coruña

El Complejo Industrial de REPSOL A Coruña comprende las instalaciones de la Refinería, del Terminal Marítimo y el Oleoducto.

3.2.1 Refinería

El esquema de la Refinería se caracteriza por su alto grado de conversión de productos pesados a ligeros, lo que permite la obtención de naftas, gasolinas y destilados sin que se produzcan grandes cantidades de fuelóleos residuales, obteniéndose también asfaltos, coque y azufre.

A continuación, se realiza una breve descripción de las Unidades que componen la Refinería y los procesos que se llevan a cabo en ella, con el objetivo de situarse en la planta y facilitar la comprensión posterior del proyecto.

Unidades de Destilación de Crudo 1 y 2

El crudo procedente de los tanques de almacenamiento se fracciona, por destilación atmosférica, en distintos productos con diferentes puntos de ebullición y características específicas. En orden creciente de punto de ebullición se distinguen: GLP (Gas Licuado de Petróleo), Nafta Ligera, Nafta Pesada, extracciones laterales y residuo atmosférico. Algunos de estos productos son sometidos a etapas de tratamiento antes de ser almacenados y otros se envían como alimentación a distintas Unidades de Proceso [3].

Unidad de Gases

Los gases procedentes de Destilación, Reformado o Conversión se someten a procesos de compresión, absorción y destilación para recuperar GLP y pequeñas fracciones de Nafta Ligera, obteniéndose Propano, Butano y gasolina de bajo número de octano. Los gases incondensables, después de un proceso de purificación con Aminas, se envían al Sistema de Fuel Gas [3].

Unidad de Tratamiento de Naftas Ligeras y componentes de gasolinas

Las Naftas se someten a un proceso de endulzamiento para transformar los compuestos de azufre presentes, quedando aptas para la formulación de gasolina producto [3].

Unidad de Unifining y Platforming: Tratamiento de naftas pesadas

Las Naftas Pesadas procedentes de las unidades de destilación contienen azufre que desactiva el catalizador de las Unidades de Reformado Catalítico. En este momento entran en juego las unidades de Unifining 1 y 2, que mediante hidrogenación catalítica, reducen el contenido de azufre hasta los niveles requeridos por el catalizador de la Unidad de Reformado [3].

Posteriormente, en las unidades de Platforming 1 y 2 se procesan estas naftas pesadas y la fracción media de la nafta de FCC, una vez han sido hidratadas para eliminar el azufre y olefinas. El proceso desarrollado en estas unidades consiste en un proceso catalítico de lecho fijo

mediante el que se obtiene gasolina de alto número de octano utilizada en *blending* de gasolinas comerciales [3].

Tratamiento de Keroseno

En este tratamiento el keroseno se endulza transformando los mercaptanos en disulfuros por medio de una reacción catalítica [3].

Unidades de Desulfuración (HDS 1 y HDS 2)

Se emplean para reducir el contenido en azufre de los destilados medios obtenidos en las unidades de Crudo y Conversión hasta el nivel requerido para producir los gasóleos comerciales [3].

Unidad de Desulfuración de naftas de FCC (HDS 3)

Esta unidad tiene como objetivo reducir el contenido en azufre de las naftas procedentes de FCC hasta el nivel requerido para producir las gasolinas comerciales [3].

Unidad de Propano/Propileno

El Propano olefínico procedente de las unidades de Conversión se destila en una torre con alto grado de fraccionamiento, separándose en Propano y Propileno de gran pureza [3].

Unidad de Hidrogenación de Butadieno

La corriente de Butano olefínico procedente de las Unidades de Conversión se hidrogena en un proceso catalítico de lecho fijo para eliminar los butadienos y así cumplir las especificaciones del Butano comercial [3].

Unidad de Reducción de Oxigenados (ORU)

El objetivo de esta unidad es la reducción del contenido en oxigenados hasta un máximo de 10 ppm del butano olefínico de venta a plantas de alquilación [3].

Unidad de Hidrogenación de Benceno

El objetivo de esta unidad es la reducción del contenido de benceno en la gasolina reformada, por hidrogenación selectiva. Esta reducción lleva implícito una disminución en el Índice de Octano de este componente de alto octanaje para ser utilizado en el *blending* de gasolinas del Complejo, lo que se verá compensado con la producción de isopentano, recuperado de la corriente de nafta ligera de la Unidad de gases mediante la Unidad desisopentanizadora [3].

Unidad Desisopentanizadora

El objetivo de esta unidad es la recuperación de isopentano en la nafta ligera, componente de alto Índice de Octano valioso para la formulación de gasolinas [3].

Unidad de ETBE/MTBE

Esta unidad es de elaboración de combustibles más ecológicos. El Isobuteno procedente de las Unidades de Conversión se hace reaccionar con etanol, en presencia de un catalizador, para obtener ETBE (etil-ter-butil-éter) [3].

Este producto oxigenado sustituye a los aditivos con Plomo para mejorar el octanaje de las gasolinas, posibilitando la fabricación de gasolinas sin plomo, contribuyendo a reducir el potencial contaminante de las mismas. La Unidad podría producir MTBE partiendo de metanol como materia prima [3].

Unidad de Aminas

Se elimina el SH_2 de los gases mediante un proceso de absorción. Los gases dulces se envían al sistema de Fuel Gas para ser utilizado como combustible en la Refinería [3].

Plantas de Recuperación de Azufre

El SH_2 procedente de las unidades de Aminas es transformado en azufre elemental, sólido, por oxidación parcial en los reactores Claus, que se comercializa en forma de pastillas. Dos de las plantas disponen de etapa Euroclaus (reducción catalítica de SO_2) para incrementar la recuperación de azufre. La finalidad de estas plantas es medioambiental. La denominación de las 2 unidades de azufre es PRA-3 y PRA-4. Las unidades PRA-1 y PRA-2 se encuentran actualmente fuera de servicio [3].

Unidades de Vacío 1, 2 y 3

El Residuo Atmosférico de la destilación es sometido de nuevo a destilación con una presión inferior a la atmosférica, obteniéndose un destilado conocido como Gasóleo de Vacío que se utiliza de alimentación a la Unidad FCC, y un residuo que sirve de alimentación a la Planta de Coquización, o para producción de asfaltos o fuelóleos [3].

Unidad de Hidrotratamiento de la carga a FCC (HDT)

La función de esta planta es la desulfuración de los gasóleos pesados procedentes de las unidades de Vacío y Coquización, mediante un proceso de hidrodesulfuración, Los gasóleos pesados producidos en esta planta, con bajo contenido en azufre, alimentan a la unidad de FCC para obtención de gasolinas, gasóleos y fuelóleos de bajo azufre [3].

Unidad de Craqueo Catalítico en Lecho Fluido (FCC)

Utiliza como alimentación los Gasóleos de Vacío. Es un proceso catalítico en lecho fluido mediante el cual la alimentación se convierte en fracciones más ligeras por craqueo en presencia de un catalizador en lecho fluidizado y a elevada temperatura. Los productos son: GLP, fracciones ligeras con aplicación a gasolina y destilado medio con aplicación a Gasóleo. Se trata de uno de los procesos más punteros y productivos de la Refinería, consiguiendo un mejor aprovechamiento del crudo para generar productos de mayor demanda en el mercado y disminuir la producción de fuelóleo [3].

Unidad de Coquización

El residuo de las Unidades de Vacío, por medio de un craqueo térmico de alta severidad, se transforma en coque, gases, naftas y destilados ligeros que se emplean en la fabricación de Gasolinas y Gasóleos que pasarán por las respectivas unidades de Tratamiento antes de su comercialización [3].

Unidad de Calcinación

En esta unidad se trata el coque térmicamente para eliminar los hidrocarburos ligeros que puedan acompañarlo y la humedad [3].

Unidad de Cogeneración 1 y 2

El Complejo dispone de dos unidades de Cogeneración que generan una potencia global de 93,78 MW. Esta producción de energía eléctrica es suficiente par abastecer el Complejo y exportar a la Red Nacional. Asimismo, la energía térmica de los gases procedentes de las turbinas de gas se aprovecha para producir hasta 135 t/h de vapor de alta presión para los servicios de Complejo [3].

Planta de Hidrógeno

Produce hidrógeno mediante el reformado de una alimentación de nafta, butano o de gas natural, para su utilización en las unidades de hidrodesulfuración [3].

Planta de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales de la Refinería se hace en la Planta de Tratamiento de Efluentes del C.I. Además, en esta planta también se tratan aguas procedentes del Terminal Marítimo [3].

3.2.2 Instalaciones auxiliares

Red de fuelóleo

El Complejo Industrial dispone de un sistema de preparación y distribución de fuelóleo con el objeto de acondicionar el combustible para alimentar a las calderas y hornos [3].

Sistema de acondicionamiento y distribución de Fuel gas y Gas Natural

El sistema de acondicionamiento y distribución de la red de FG, tiene por objeto suministrar gas combustible a todas las unidades consumidoras del Complejo que lo precisen y de asegurarse su desulfuración, a través de una gestión adecuada de las plantas de Aminas [3].

Al igual que el fuel gas, el GN (básicamente metano, CH_4) tiene una red de distribución a lo largo del complejo con objeto de alimentar las distintas unidades que lo consumen: unidades de cogeneración, plantas de PRA y planta de hidrógeno [3].

Torres de Refrigeración

Se emplean para enfriar el agua utilizada en eliminar calor en las unidades de proceso [3].

Suministro y distribución de Agua

El Complejo Industrial dispone de una red de suministro agua para su distribución a lo largo de los diferentes puntos de consumo, a las redes contraincendios y a la planta [3].

Tratamientos de Agua de Calderas

El Complejo dispone un sistema de tratamiento de agua de calderas para purificar el agua destinada a producir vapor de agua en calderas y generadores de vapor. Este tratamiento consiste en una filtración y una desmineralización por intercambio con resinas catiónicas y aniónicas para eliminar la dureza del agua [3].

Vapor

El Complejo genera vapor en calderas y generadores, así como también en las unidades de cogeneración. Este vapor se utiliza para accionar turbinas, para calentamiento y para *stripping*. Asimismo también se suministra vapor a Air Liquide y se importa vapor de Air Liquide [3].

La red de vapor se extiende por toda la refinería en diferentes niveles de presión: vapor de alta (41 bar), vapor de media (11.5 y 17,5 bar) y vapor de baja (4,5 bar). A su vez cada nivel de presión en el vapor implica una red paralela de condensados para su reutilización como agua para producir nuevamente vapor [3].

Aire y Nitrógeno

Se dispone de compresores de aire para la distribución de aire comprimido para las redes de aire de planta e instrumentos [3].

Existen dos instalaciones externas de suministro de nitrógeno: una en el área de Bens y otra en el área de Nostián, utilizadas fundamentalmente para inertizado de líneas y equipos [3].

Parques de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento del Complejo se distribuye de la siguiente manera [3]:

- Tanques: Para almacenamiento de crudo, productos líquidos y *slops*
- Esferas: Para almacenamiento de productos gaseosos e isopentano
- Silos: Para almacenamiento cerrado de sólidos (coque)
- Campas de almacenamiento: Para almacenamiento de sólidos (coque y azufre)

Cargaderos

En el Complejo Industrial de A Coruña existen tres cargaderos, uno destinado a asfaltos, otro a azufre y otro a coque [3].

3.2.3 Terminal marítimo de San Diego

A través de las instalaciones del Terminal Marítimo se lleva a cabo la recepción de crudo y de algunas materias primas, así como la expedición de una gran parte de los productos producidos en el complejo industrial. El Terminal Marítimo consta de las siguientes instalaciones [3]:

- Cuatro pantalanes de atraque para carga y descarga de gases licuados y productos petrolíferos, hasta una capacidad máxima de 150.000 TPM, y de dos instalaciones adicionales de carga a buques, una para coque y otra para azufre.
- Un parque de almacenamiento de crudo y de productos acabados.

3.2.4 Oleoducto

Formado por catorce conducciones (con diámetros entre 6" y 24") para el trasiego de crudo y productos entre el Terminal marítimo y la Refinería [3].

4. Integración del proceso en la Refinería

Como ya se ha comentado en el apartado Objeto de la Memoria, en la implantación del proceso de oligomerización en el C.I. de A Coruña se estudia la posibilidad de adaptar la Unidad de [redacted] reutilizando unidades existentes para procesar el butano olefínico procedente de la Unidad de [redacted] que se encuentra fuera de especificación. En el Anexo VI se ofrece una propuesta de reutilización de equipos de [redacted] para su uso en el proceso de oligomerización.

En la Figura 4.1 se muestra un esquema de producción que se podría integrar en la refinería. En operación normal, todo el *Raffinate de* [redacted] se dirigiría a la nueva Unidad de Oligomerización (situada en [redacted]). Mediante este proceso, todo el butano producto generado se adecuaría a los requerimientos del butano comercial y sería almacenado en esferas de butano parafínico.

Actualmente en la Unidad de Hidrogenación de Butadieno existente no todo el butano que se produce puede ser enviado a esferas de butano comercial, y cierta parte se almacena en esferas de butano fuera de especificación. Además, la cantidad de olefinas que se retira del butano, es convertida a nuevos productos con salida al mercado, por lo que la situación se mejora en todos los aspectos.

Información no disponible en la versión pública.

Figura 4.1 Esquema de integración del proceso de oligomerización en el C.I. de A Coruña: Elaboración propia

Por otro lado, ante cualquier imprevisto en la Unidad de Oligomerización, la producción se podría mantener en el esquema actual dirigiendo la corriente de LPG olefínico a Hidrogenación de Butadieno.

Las unidades de [redacted], Hidrogenación de Butadieno y [redacted] son colindantes en la Refinería. En la Figura 4.2 se muestra la zona de la planta en cuestión, extraída del sitio web de Repsol.

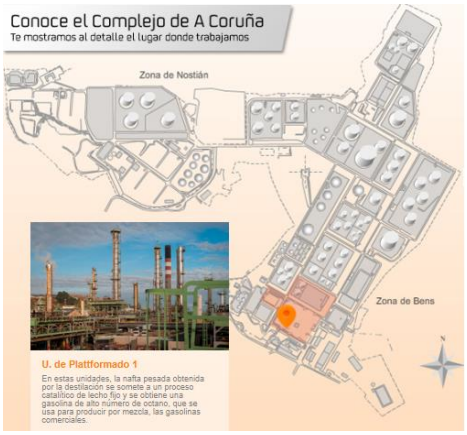


Figura 4.2 Zona de [redacted] en la Refinería de A Coruña. Fuente: [3]

5. Alimentación

Como se ha comentado anteriormente, la carga de alimentación a la Unidad de Oligomerización proviene de la Unidad de [redacted]. El *Raffinate de* [redacted] está compuesto por una mezcla de hidrocarburos de corte C4 (n-butanos y butenos) con presencia de pequeñas cantidades de propano y pentano, y muy poco contenido en isobutano ya que se ha consumido en la unidad previa.

Entre los diferentes hidrocarburos que forman la alimentación, se distinguen parafinas, que son inertes y no toman partido en la reacción, y olefinas, que son los compuestos reactivos. La composición de la corriente de *Raffinate* que se alimenta al proceso de oligomerización se ofrece en la Tabla 5.1, utilizando los valores facilitados por Repsol.

Tabla 5.1 Composición alimentación Raffinate [redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

La alimentación de *Raffinate* excede los límites comerciales que especifican un máximo contenido en olefinas del 20% v/v, por lo que las reacciones de oligomerización se aprovechan por una parte para reducir el contenido olefínico del LPG hasta rangos comerciales, y por otra para formar de compuestos de mayor peso molecular con aplicación combustible.

Como se puede ver, las olefinas que se encuentran en mayor cantidad son los isómeros [redacted], que serán los hidrocarburos que mayor conversión ofrezcan según lo que se comentará posteriormente.

En la Tabla 5.2 también se muestra la caracterización de las propiedades del *Raffinate* producido en A Coruña: densidad, contenido en azufre, contenido en nitrógeno y peso molecular.

Tabla 5.2 Caracterización del Raffinate [redacted] producido en A Coruña

Raffinate de [redacted]	
Procedencia	A Coruña
Densidad en condiciones estándar (kg/m3)	590
Densidad en condiciones de entrada (kg/m3)	568
S (ppm)	0
N (ppm)	0
Peso molecular	[redacted]

6. Productos

Los productos obtenidos en el proceso de oligomerización son GLP, cortes de gasolina (C4-C12) y cortes de destilado medio (C12-C20).

6.1. GLP

El GLP (Gas Licuado de Petróleo) está constituido por hidrocarburos de tres a cuatro átomos de carbono, que a temperatura ambiente y a presión atmosférica se encuentran en fase gaseosa pero pasan a líquido a presiones relativamente bajas [6].

Desde el punto de vista comercial, el GLP está compuesto principalmente por propano/Propileno y butano/butenos y sus isómeros, además de trazas de etano e hidrocarburos de corte C5 e incluso C6. El nombre del producto comercial se toma en base al hidrocarburo existente en mayor proporción, cuyo valor se encuentra regulado por las especificaciones de cada país [6].

Para el Propano comercial, el contenido mínimo de propano/Propileno debe ser superior al 80% v/v, mientras que el de butano/butenos no puede ser superior al 20% v/v. El contenido máximo de corte 2 no puede ser superior el 2,5% v/v, y para el C5 se reduce al 1,5% v/v La proporción máxima de olefinas está limitada al 35% v/v, y las acetilenos y diolefinas juntos no pueden superar las 1000 ppm [6]. Por otro lado, para el Butano comercial, el contenido mínimo de butano (butenos e isómeros debe ser superior al 80% v/v, mientras que el corte C3 se limita al 20%. Los hidrocarburos C2 y C5 tienen el mismo límite que el Propano comercial, mientras que el contenido en olefinas debe ser inferior al 20%.

En este caso, el producto GLP es butano comercial y el objetivo es rebajar su contenido olefínico por debajo del 20% en volumen.

6.2. Gasolinas

La gasolina es una mezcla compleja de distintos hidrocarburos que destila en el rango de temperaturas 30^{o}C-220^{o}C y en la que predominan componentes en el rango C4-C12. Se produce por la mezcla de hidrocarburos de todo tipo:parafinas, isoparafinas, olefinas, aromáticos, naftenos, etc para alcanzar las especificaciones impuestas por el mercado y por la legislación del sector. Su componente principal es la llamada nafta reformada, que se obtiene a través del proceso de *reforming* de la nafta pesada obtenida por destilación directa del crudo. El otro componente mayoritario es la nafta de FCC. Además, la gasolina comercial también contiene otros productos de mezcla que no son de origen petrolífero, como por ejemplo los éteres y alcoholes que se usan para aumentar el número de octano y aditivos para mejorar la calidad del carburante [6].

El corte de gasolina generado en el proceso de oligomerización se trata de un producto que todavía no tiene salida comercial, puesto que es necesario someterlo a posteriores etapas de

blending donde se adecúe la mezcla de hidrocarburos para situarlo dentro de especificación comercial ajustando el octanaje, densidad, volatilidad, compuestos oxigenados, estabilidad, etc.

6.3. Destilados medios

6.3.1 Gasoil

De forma genérica existen dos tipos de gasóleos. Por un lado los utilizados en los motores de combustión interna alternativos (MCIA) y motores por compresión (MEC) o diésel, y por otro lado el gasóleo de calefacción o *Heating Oil* con aplicación en hornos y calderas. Los primeros tienen mayores restricciones de calidad que los segundos, que se componen de productos de altas densidades y bajo número de cetano. Son el resultado de la mezcla de distintos componentes obtenidos en diferentes unidades de refino. Su intervalo de ebullición está comprendido entre los 160°C y 360°C aproximadamente. El contenido en azufre en el gasoil de calefacción es más permisivo que para los utilizados en automoción. Los componentes principales de los destilados medios son el keroseno y diésel, obtenidos de destilación directa del crudo [6].

El corte destilado medio que se genera en el proceso de oligomerización está formado por olefinas de cadena larga en el rango C12-C20, que igual que el producto de corte de nafta, debe ser sometido a etapas posteriores de mezclado y tratamiento para su salida comercial [6].

6.3.2 Queroseno

El queroseno es una mezcla compleja de hidrocarburos (en el intervalo C9-C17) que se utiliza, principalmente, como combustible de aviación. Es líquido a temperatura ambiente, tiene un color transparente (a veces ligeramente amarillo) y su densidad está entre la de la gasolina y el gasoil. Se obtiene por destilación de petróleo y es el resultado de la mezcla (*blending*) de diferentes corrientes de refino. Este combustible es una mezcla de n-parafinas, iso-parafinas, naftenos, aromáticos (principalmente alquilbencenos y alquilnaftalenos) y olefinas (en un rango de 0,5%-5%).

El carburante más usado en aviación con motor de reacción es el Jet-A1, compuesto principalmente por queroseno. Este carburante se obtiene prácticamente en su totalidad de las fracciones primarias de la destilación atmosférica del crudo (*straight-run*), aunque también se produce a través de fracciones primarias hidrotratadas y de fracciones de conversión (FCC, visbreaking…) [8].

7. Análisis de mercado

A la hora de plantear un nuevo proceso es necesario conocer el mercado en el que se va a situar para así poder analizar su viabilidad económica y su previsión de futuro. El proceso que se estudia en este proyecto es rentable y tiene una buena previsión de futuro ya que ha sido sometido a los exhaustivos estudios de rentabilidad y de viabilidad técnica de REPSOL. De todos modos, es necesario analizar el mercado de materias primas y productos para así poder entender las dinámicas de un sector tan complejo como el del petróleo.

Como ya se ha explicado, este proyecto se basa en la valorización de una corriente de butano olefínico (que no cumple las especificaciones de mercado para ser vendido como Gas Licuado de Petróleo) a través de su transformación en gasolina y destilados medios (gasoil y queroseno). Dado que la corriente de butano olefínico con la que se va a alimentar el proceso es una corriente residual del actual proceso existente en la refinería de A Coruña, se analizarán las materias primas a través de las que se produce dicha corriente residual (crudo) y los productos en los que esta se va a transformar, principalmente gasolina y destilados medios.

En este apartado se llevará a cabo el estudio de los factores que afectan a la economía de las materias primas y los productos del proceso en cuestión. Dichos factores serán la oferta, la demanda, precios (así como su evolución) y elementos que condicionan las variaciones en el mercado.

7.1. Introducción

La industria petrolera moderna nace a finales de la década de 1850 con el descubrimiento del primer pozo de petróleo comercialmente viable en Estados Unidos. A partir de este momento la tecnología emergente empezó a crear nuevos productos a partir del petróleo, como por ejemplo el queroseno, que se popularizó ampliamente como combustible limpio y barato para iluminar los hogares [9]. A día de hoy, el petróleo constituye la principal fuente de energía para el ser humano.

7.2. Contexto energético y la importancia del crudo de petróleo

En los siguientes apartados se analizará la situación energética mundial y, más en profundidad, el papel que tiene el crudo en el suministro de energía de nuestro planeta. Se analizará la producción, consumo y precios del crudo y de sus derivados.

7.2.1 Consumo y producción global de energía

El petróleo, el gas natural y el carbón siguen siendo la fuente de energía dominante en la economía global, sumando juntos el 85% de todo el suministro de energía. El petróleo continúa siendo la fuente de energía principal a nivel global mientras que el conjunto de energías renovables (incluyendo la energía hidroeléctrica) se mantiene en un valor bajo, aproximadamente el 10%. La Unión Europea, a diferencia de otras economías punteras, cuenta con una mayor presencia de energía nuclear (11.6%) y de energías renovables (13.1%) [10].

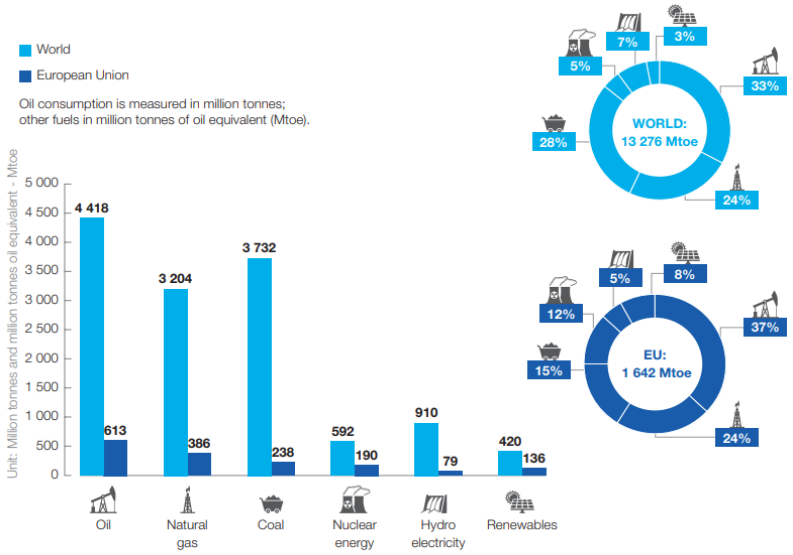


Figura 7.1 Consumo global por tipo de energía en 2016 (Mtoe=toneladas equivalentes de petróleo). Fuente: [10].

Tal y como se muestra en la Figura 7.1, el consumo de energía global se incrementó en un 1% durante el 2016, mientras que la demanda en la UE de petróleo y gas natural se mantuvo constante (14% y 12% respectivamente). Como era de esperar, la demanda de carbón descendió un punto, situándose en un 6% durante el año en cuestión. Como se muestra en la Figura 7.1, el petróleo (37%) y el gas natural (24%) conforman la mayor demanda energética de la UE, suponiendo un 61% del total. El carbón es la fuente de energía más utilizada en China e India, que juntos acaparan el 62% de la demanda global [10].

El crudo sigue siendo un valor seguro, al menos desde el punto de vista de la demanda.

7.2.2 Producción, consumo y precios del crudo de petróleo

Producción[1] y consumo

Conocer la evolución de las materias primas es fundamental para evaluar la viabilidad de un nuevo proceso y aún más en procesos relacionados con el petróleo, ya que se espera que la demanda de combustibles fósiles caiga paulatinamente.

¿Cómo ha evolucionado la producción de crudo de petróleo en los últimos años? En la Figura 7.2 se puede observar la evolución de la producción de petróleo crudo y otros productos desde los años 90 hasta 2016.

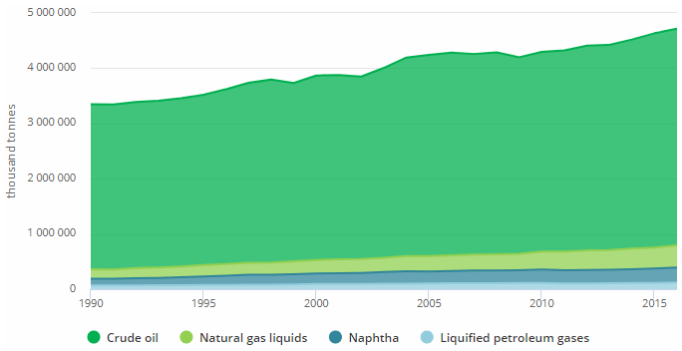


Figura 7.2 Producción de crudo y otros productos. Fuente: [11].

Se aprecia claramente que la producción de crudo y productos derivados tiene una tendencia creciente durante los últimos 25 años, acompañada en todo momento del consumo. En la Figura 7.3 se muestra que durante los últimos 50 años la tendencia de la producción es coincidente con la del consumo.

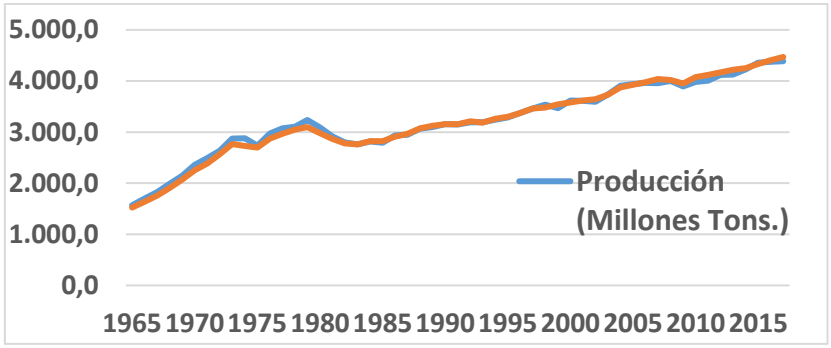


Figura 7.3 Consumo y producción de crudo a nivel mundial en millones de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de [12].

En el mercado del petróleo los precios son muy flexibles (al alza y a la baja) y equilibran la oferta y la demanda, tanto en el medio como en el largo plazo. En el corto plazo puede haber desequilibrios entre la oferta y la demanda, pero los precios se encargan de que estos desajustes sean transitorios y poco duraderos en el tiempo.

Los valores de referencia para los crudos varían conforme se ajuste la producción, de forma que actuando sobre la oferta se hace variar el precio y, de esta manera, se mantiene más o menos estable. Es normal que los países importadores (por ejemplo, los países europeos) compren grandes cantidades de crudo cuando el precio está bajo y así no tienen la necesidad de comprar

[1] Aunque el crudo no se produce como tal, se usa ese término para referirse a la extracción o cantidad de crudo extraída.

cuando se rebaja la producción y sube el precio. Esta disminución de la demanda hace caer el precio de nuevo por lo que las variaciones no suelen ser ni muy grandes ni muy prolongadas en el tiempo.

Precios

El precio de cada crudo varía mucho en función de su calidad, normalmente dependiendo de si es dulce o ácido (dependiendo de su cantidad de azufre) y ligero o pesado (dependiendo de su graduación API). Por ese motivo se utilizan crudos de referencia para establecer los precios: los principales son el WTI y el Brent.

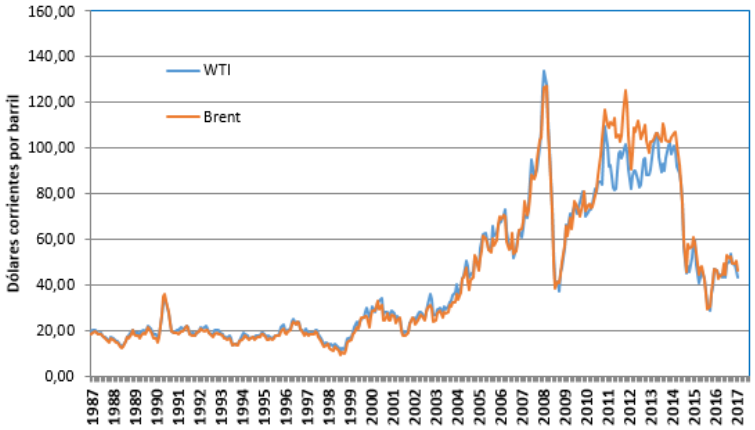


Figura 7.4 Precios medios mensuales del Brent y WTI entre 1987 y 2017. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en [13].

El Brent es un crudo extraído en una zona petrolífera del mar del norte, dulce y ligero (lo cual lo hace ideal para la producción de gasolina y destilados medios), que sirve como valor de referencia en Europa [14].

El WTI (West Texas Intermediate) es otro crudo, extraído en Texas y Oklahoma, dulce y ligero. Es aún más dulce y ligero que el Brent por lo que su refinado resulta más fácil, aunque no necesariamente significa que su precio sea mayor. De hecho, la situación suele ser la contraria. De la misma manera que el Brent sirve de referencia para Europa, el WTI sirve como referencia en EEUU [14].

A lo largo de los años los precios del barril de Brent y de WTI han sido muy similares. Esto cambió a principios de 2011, como se puede ver en la Figura 7.4. El cambio se debe, principalmente, a la sobreprotección de Estados Unidos, donde las infraestructuras de Cushing (centro neurálgico del crudo WTI y principal punto de distribución) no estaban preparadas para distribuir tanto crudo, por lo que bajó su cotización. Desde 2011 hasta hoy el Brent ha sido más caro que el WTI salvo en contadas ocasiones [14].

Por otro lado, está la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo, en inglés OPEC), que nace en 1960 con la misión de coordinar y unificar las políticas del petróleo de los países miembros y asegurar la estabilidad de los mercados de petróleo para poder tener un funcionamiento económicamente eficiente, un suministro constante a los consumidores (y unas ventas constantes para los vendedores) y un retorno de capital justo para aquellos que inviertan en la industria del petróleo. Esta organización cuenta con países como Iraq, Kuwait, Arabia Saudí, Qatar, Indonesia, Nigeria… [15]

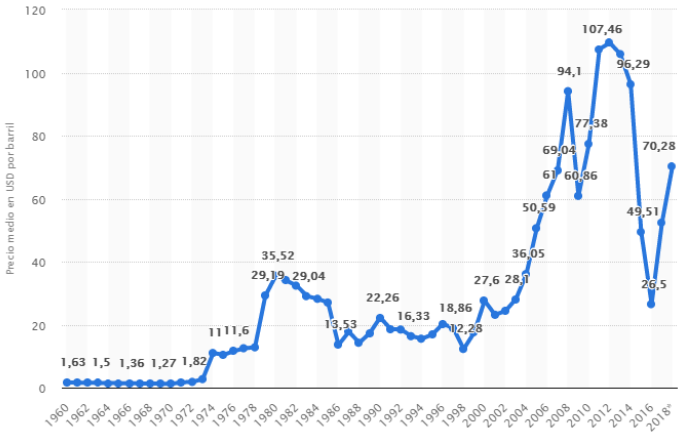


Figura 7.5 Evolución anual de los precios del crudo fijados por la OPEP desde 1960 hasta 2018. Fuente: [16].

Llegados a este punto cabe preguntarse qué tiene que ver la OPEP con los valores de referencia del crudo. El mercado sigue la ley de la oferta y la demanda por lo que variar alguno de esos factores va a afectar sobre el precio. La OPEP intenta ajustar la oferta (y por lo tanto el precio, Figura 7.5) controlando la producción de los países que la forman, pero también hay que tener en cuenta la demanda de los países importadores. En los inicios del auge del petróleo los países miembros de la OPEP representaban la mayor parte de la producción mundial de crudo, pero con los años otras naciones se incorporaron a este negocio (por ejemplo, Rusia) y no necesariamente simpatizaban con esta organización. Controlar el precio del petróleo siendo responsable de la mayor parte de la producción es viable, pero con grandes competidores como Rusia o E.E.U.U. en el mercado, el porcentaje de producción de países OPEP fue disminuyendo. Como conclusión, hubo un momento en el que la OPEP controlaba totalmente el mercado (incluso con comportamiento de cártel) del petróleo, pero a día de hoy no es excesivamente significativa.

En resumen, cuando se realiza una compra de crudo en el mercado de futuros[2], el precio que se está pagando es el del crudo en cuestión referenciado al Brent o al WTI (por ejemplo, un crudo pesado y ácido podría valer lo que marca el Brent menos 10 puntos) independientemente del precio fijado por la OPEP.

7.2.3 Oferta, demanda y equilibrio oferta-demanda

Oferta

El reajuste de los desequilibrios producidos en el balance oferta-demanda durante el periodo 2014-2016 está siendo posible en gran medida gracias a los recortes de producción de crudo acordados a finales del año 2016: -1,18 millones de bl/d comprometidos por la OPEP y -550 mil bl/d comprometidos por el conjunto de los 10 países no OPEP. Los datos proporcionados por la AIE (Agencia Internacional de la Energía) determinan que el cumplimiento medio de la OPEP en 2017 es de un 95%, liderado en gran medida por Arabia Saudí y Venezuela. De este modo, la oferta global de petróleo (crudo + condensados + líquidos de gas natural) aumentó en +335 mil bl/d [17].

Demanda

Fue en 2017 cuando se consolidó el crecimiento económico iniciado en 2016 y ha sido en este entorno en el que se confirmó la buena evolución de la demanda de petróleo en 2017. En el año

[2] Mercado en el que se negocian los contratos de compraventa de productos para una fecha futura y estipulada en la que el precio se establece previamente.

2017, según la AIE, la demanda global de petróleo creció un 1,7%. Esto sitúa la demanda media en 97,82 millones de bl/d [17].

La contribución al crecimiento de la demanda fue en gran medida por los países no-OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), suponiendo un 70% de este crecimiento [17].

Balance oferta-demanda

Las previsiones de la AIE para el año 2018 sitúan a la demanda en 99,3 millones bl/d mientras que el agregado de la oferta de los países no-OPEP y líquidos de gas natural de la OPEP alcanzarían 66,9 millones bl/d. Teniendo en cuenta que durante ese año también se mantendría la política de recortes explicada anteriormente, los inventarios globales caerían una media de -530 mil bl/d, lo que supondría un segundo año de corrección de inventarios[3]. Esta situación contrasta con la acumulación que se dio durante 2015 y 2016 y hace resaltar la importancia del control de la oferta que está ejerciendo la OPEP y el grupo no-OPEP a través de los recortes de producción [17].

7.2.4 Conclusiones

Los bajos precios que dominaban en el mercado del petróleo varios años atrás parece que se han visto mejorados gracias al reajuste del balance oferta-demanda del período 2014-2016. Este repunte se debe, principalmente, a dos factores: la demanda se está viendo impulsada por un contexto económico favorable y la oferta está siendo duramente controlada con los acuerdos de recorte [17].

Los factores que más pueden alterar la situación son la geopolítica y la producción de EEUU, pero esta alteración puede ser tanto positiva como negativa. La situación en Venezuela y la dificultad para sacar crudo de Texas apuntan a que la mayor tensión se va a dar por el lado de la oferta [17].

7.3. Mercado de derivados del petróleo

El mercado del petróleo y de sus derivados está tremendamente globalizado y los países pequeños tienen muy poca capacidad –por no decir nula –para influir sobre los precios o sobre las cantidades. España es un país pequeño, tanto por su baja producción como por lo reducida que es su aportación al consumo mundial de crudos y derivados, pero se usará este país como referencia de precios y producción por ser un ejemplo cercano y, también, por ser el lugar donde estará la planta para la que se hace el análisis de mercado.

A nivel europeo, la demanda de productos derivados de petróleo comenzó su descenso en 2008. Durante los últimos nueve años la demanda descendió aproximadamente un 8%, liderada principalmente por la caída del fueloil y la gasolina. La demanda de gasoil y queroseno también ha descendido, pero de una forma mucho menos agresiva que el resto de derivados [18].

En esta sección se analizarán productos del petróleo tales como gasolina, gasoil, queroseno y GLP (cuya demanda está representada en la Figura 7.6), ya que son los productos que se van a obtener a través del proceso planteado.

[3] Se entiende como inventario a las reservas de petróleo que tiene cada país. El American Petrol Institute (API) comunica los niveles de inventario de las refinerías y de los países productores.

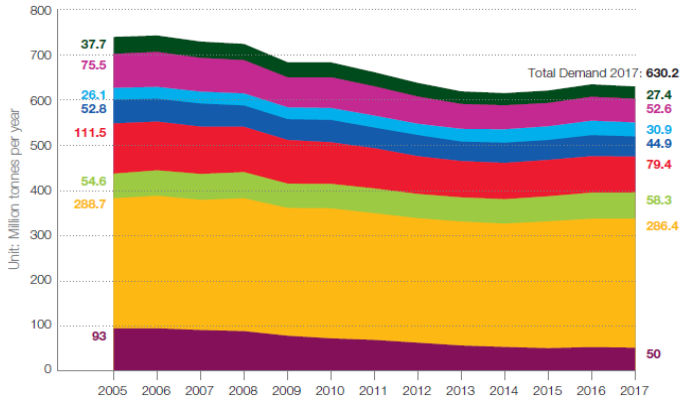


Figura 7.6 Demanda de los productos derivados de petróleo en la UE en el período 2005-2017. Fuente: [18].

7.3.1 Mercado Gasolina

Las refinerías operan entre dos mercados, el del crudo y el de los productos derivados de petróleo. La brecha existente entre el precio del crudo y el precio de venta de los productos derivados representa en margen económico de la actividad. Generalmente, los precios de los productos derivados suben cuando sube el precio del crudo, pero las causas de la diferencia en el precio son varias. En términos históricos, el beneficio ha empezado a decaer en el año 2008 durante la época de demanda decreciente [18].

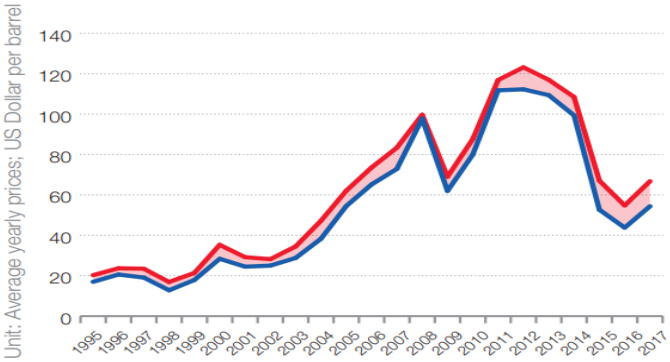


Figura 7.7 Margen económico del petróleo crudo y la gasolina. Fuente: [10].

Después de un beneficioso pero insuficiente repunte, dio comienzo un mejor período para las refinerías en 2015-2017. El margen es generalmente estrecho y esta industria es muy vulnerable a los costes de operación, que deben ser descontados antes de calcular el beneficio [18].

Producción

La producción de gasolina en la UE supera a la demanda y por lo tanto es el derivado de petróleo que más se exporta. En la Tabla 7.1 se muestran las importaciones netas de la UE para ciertos productos derivados de petróleo. Este exceso de producción combinado con la disminución de la demanda de gasolina ha provocado el aumento de las exportaciones de este combustible.

Tabla 7.1 Importaciones netas de diversos productos derivados del petróleo. Fuente: [18].

Net imports of selected petroleum products, EU-28, in selected years, 1990-2016
(Mtoe)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Crude oil and NGL	471.6	471.0	500.6	563.6	522.4	528.4	520.2
Refinery feedstocks	32.8	21.5	11.1	13.6	13.2	15.8	15.4
Liquified petroleum gas (LPG)	6.1	5.9	5.5	6.7	9.2	14.9	14.1
Gasoline (without bio components)	-8.7	-14.8	-16.9	-39.3	-45.3	-56.1	-55.8
Kerosene type jet fuel (without bio components)	-2.8	-2.2	4.6	13.8	15.9	16.9	17.8
Gas/diesel oil (without bio components)	15.6	-0.1	7.9	25.1	27.5	24.4	27.1
Naphtha	13.6	12.7	10.5	12.7	14.4	13.1	12.5
Fuel oil	6.2	13.1	1.3	-8.8	-3.0	-16.3	-15.0
All other products	0.2	3.6	8.0	10.6	3.3	-5.4	-6.3

En la Tabla 7.1 se muestran los datos de importación neta de EU-28. A modo de aclaración, cuando un dato tiene signo negativo quiere decir que se exporta. Por lo tanto, reforzando lo ya dicho anteriormente, la Unión Europea produce más gasolina de la que consume y por lo tanto la exporta al exterior.

En la Figura 7.8 se muestra la producción de gasolina para motor (mezclada con biocomponentes) en las refinerías europeas y en las refinerías españolas. Se puede observar que la producción a nivel europeo oscila con una frecuencia mucho mayor que la española, pero aun así ambas gráficas siguen el mismo patrón (aunque en la producción española se atenúe la oscilación). A pesar de dicha oscilación, no se observa ninguna tendencia durante este período por lo que se deduce que la producción es estable dentro de unos límites.

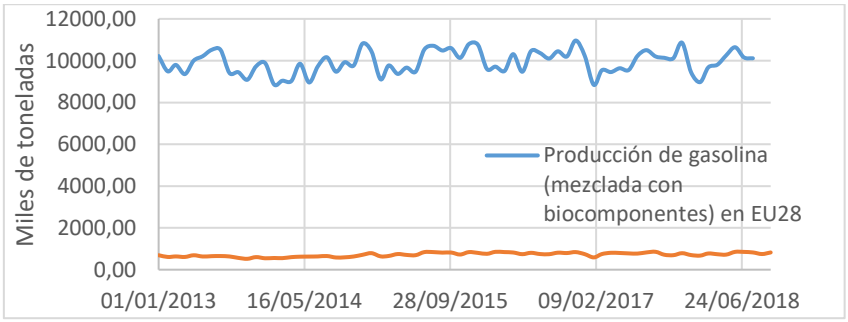


Figura 7.8 Producción de gasolina (con biocomponentes) en las refinerías españolas y europeas en el período 2013-2018. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en [18].

Precio

A nivel europeo es complicado exponer los precios de los carburantes ya que gran parte de su coste viene dado por los impuestos. En esta sección se hará más hincapié en los precios de España, que tienen una carga de impuestos más baja (por lo general) que el resto de los países europeos.

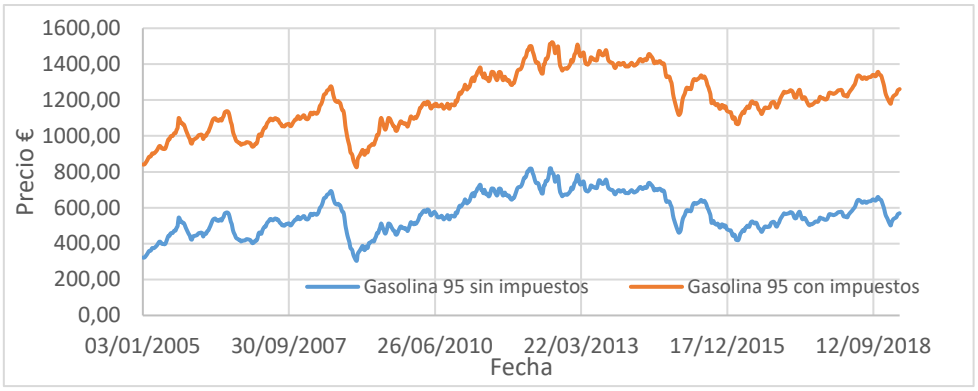


Figura 7.9 Precios por 1000L de gasolina Euro-super 95 en España durante el periodo señalado. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en [19].

En la Figura 7.9 se observa una ligera tendencia creciente en la evolución de los precios, aunque no es demasiado alta.

Gran parte del precio de la gasolina corresponde a los impuestos, por lo que en la Figura 7.10 se muestra la evolución del porcentaje de impuestos sobre la gasolina en el período 2015-2019. Dicho porcentaje oscila entre un 46% y un 64%, siendo muy poco constante a lo largo de los años señalados.

Se puede apreciar que para compensar la caída de precio que tuvo lugar en el año 2009, la subida de impuestos fue mayor al 10%. Esto se debe a la subida de impuestos que tuvo lugar durante la etapa más profunda de la crisis. El descenso en la demanda de combustibles por la disminución del nivel económico de la población provocó una caída en los precios de los combustibles que se vio compensada con el aumento de los impuestos.



Figura 7.10 Evolución del porcentaje de impuestos sobre la gasolina Euro-super 95 en España durante el período señalado. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [19].

Más adelante se hablará de la gasolina de aviación, que no ha sido incluida en esta sección por tener una producción insignificante en comparación con la gasolina de motor convencional.

7.3.2 Mercado Gasoil

De la misma manera que se planteó el margen del refino de la gasolina, se presenta en la Figura 7.11 el margen para el diésel.

Igual que en el caso de la gasolina, se observa la caída de los precios en el año 2009 con el correspondiente repunte en los años posteriores.

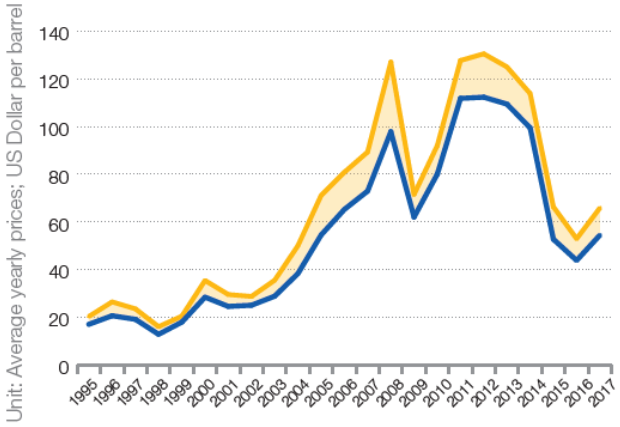


Figura 7.11 Margen económico del petróleo crudo y el diésel. Fuente: [10].

Producción

El gasoil es mucho más demandado que la gasolina y eso se puede apreciar en la Figura 7.12. En dicha Figura se muestra que el diésel es el derivado de petróleo que más se importa en la Unión Europea.

Toda la demanda de gasoil a la que se enfrenta la UE se ve subsanada, principalmente, por Rusia. Este país es el principal exportador de gasoil a la Unión Europea, aunque ha ido perdiendo presencia a lo largo de los años. En el período 2000-2007, más del 90% de las importaciones de diésel a la UE provenían de Rusia (el porcentaje restante provenía de Estados Unidos). A partir del año 2007, las importaciones provenientes de Rusia fueron cediendo protagonismo al diésel importado de E.E.U.U. pero siguieron manteniendo el liderazgo en la importación. Esto se debe a que las refinerías rusas tratan crudos muy dulces y ligeros sin llegar a etapas de conversión, obteniendo grandes rendimientos en destilados ligeros y medios y exportando los residuos atmosféricos para ser tratados en las refinerías europeas [10].

En la Figura 7.12 se muestran los datos que respaldan lo explicado en el párrafo anterior. La exportación de Rusia predomina a lo largo de los años, aunque va perdiendo presencia a medida que Estados Unidos se convierte en un exportador importante de gasoil.

A modo de curiosidad, el vertido que tuvo lugar en el accidente del Prestige (en plena costa gallega) se trataba de M100, un fueloil pesado proveniente de una refinería próxima a San Petersburgo.

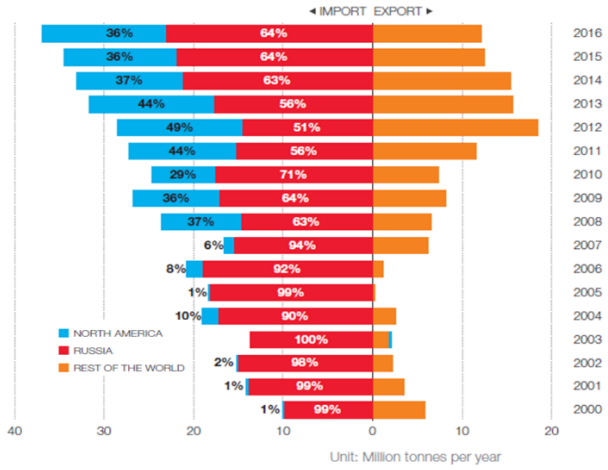


Figura 7.12 Evolución de las importaciones de diésel en la UE desde el 2000 hasta 2016. Fuente: [10].

En la Figura 7.13 se muestra la comparación entre la producción de gasoil (sin biocomponentes) en las refinerías europeas y en las españolas. El comportamiento es muy similar al caso de la gasolina, aunque en este caso la tendencia productiva es ligeramente creciente.

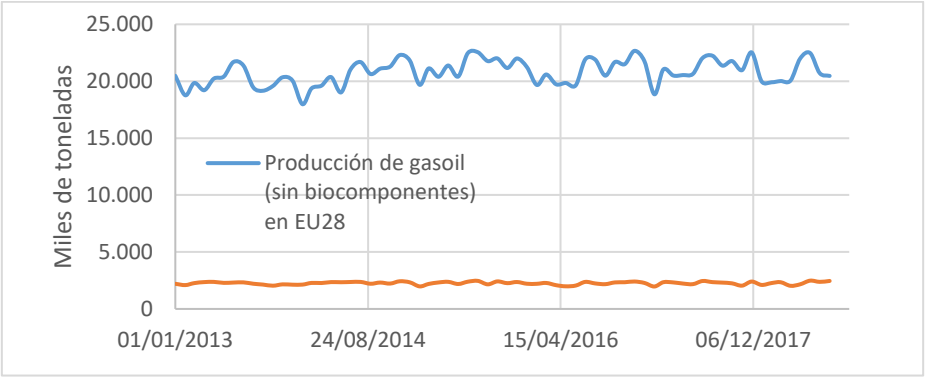


Figura 7.13 Producción de gasoil (sin biocomponentes) en las refinerías españolas y europeas en el período 2013-2018. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [19].

La producción de diésel es notablemente superior a la de gasolina (aproximadamente el doble) y aun así no es suficiente para satisfacer la demanda.

Precios

Analizando los datos obtenidos de la Comisión Europea se pueden observar comportamientos curiosos respecto a los carburantes. De la misma manera que se hizo para la gasolina, en la Figura 7.14 se muestran los precios con y sin impuestos para el gasóleo de automoción en España.

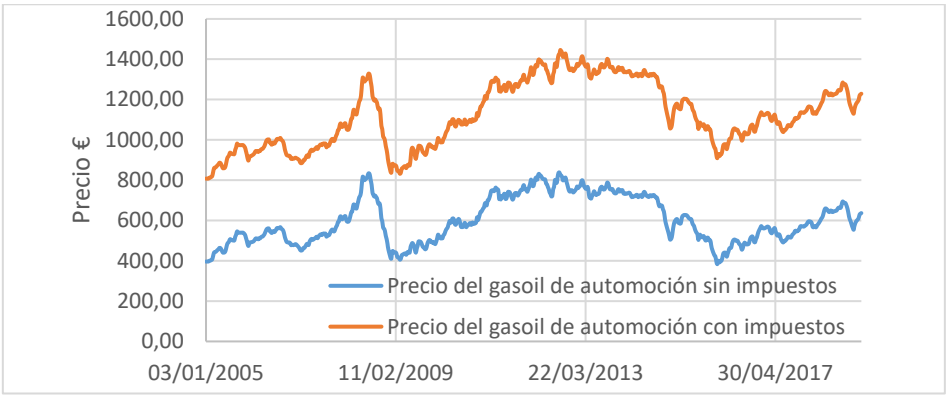


Figura 7.14 Precios por 1000L de gasoil de automoción en España durante el periodo señalado. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de [19]

Haciendo la media de todos los datos disponibles (precios semanales desde 2005 hasta 2018) se llega a la conclusión de que el precio de venta del gasoil (600,65€ cada 1000L) es más alto que el de la gasolina (570,14€ cada 1000L). Entonces, ¿por qué en las estaciones de servicio es más cara la gasolina que el diésel? Por la carga de impuestos, que será explicada posteriormente cuando se analice la dinámica de mercado de la gasolina y el diésel.

En la Figura 7.15 se muestra el porcentaje de impuestos que afecta al gasóleo de automoción en el período 2005-20018.



Figura 7.15 Evolución del porcentaje de impuestos sobre el gasoil de automoción en España durante el período señalado. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [11].

Salta a la vista que la dinámica existente entre el precio del diésel y la carga de impuestos sigue la misma tendencia que en el caso de la gasolina. Cuando el precio sube, el impuesto baja y viceversa.

7.3.3 Mercado Queroseno

Como se ha comentado anteriormente, se trata del carburante más utilizado en aviación, por lo que se estudiará la producción y los precios del queroseno a través del tipo Jet Fuel.

Producción

Siguiendo la misma dinámica que con la gasolina y el gasoil, se estudiará la producción de queroseno tipo Jet Fuel a través de la comparación Unión Europea-España.

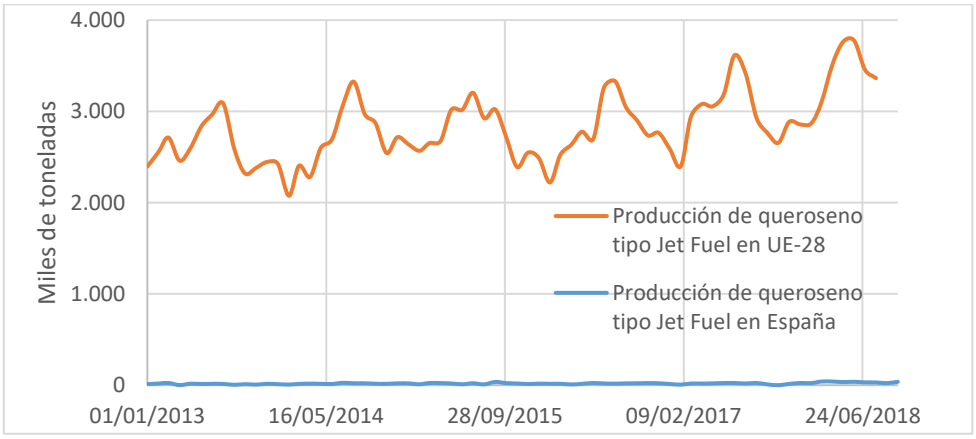


Figura 7.16 Producción de queroseno tipo Jet Fuel en UE-28 y España. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [18].

En la Figura 7.16 se puede observar que la producción a nivel europeo ha ido aumentando mientras que la producción española se mantuvo prácticamente constante. Aunque en el gráfico no se aprecie claramente, las fluctuaciones de la producción a nivel nacional también son grandes y responden a las fluctuaciones a nivel europeo. De nuevo, la contribución de España a la producción de queroseno en la Unión Europea es insignificante.

Precios

Como se demuestra a través de las gráficas que se presentan a continuación, los precios del queroseno tipo jet fuel en España coinciden con los del mercado mundial. Esta coincidencia se puede entender bien a través del siguiente ejemplo: un avión que va desde Madrid a Miami. El avión tendrá que repostar en el aeropuerto madrileño para poder llegar a su destino, y ese combustible comprado en España para que sea utilizado por el avión se considera una

exportación y está libre de impuestos (IVA, impuesto sobre carburantes, etc…). A fin de cuentas, el precio del jet fuel lo marca el mercado internacional.

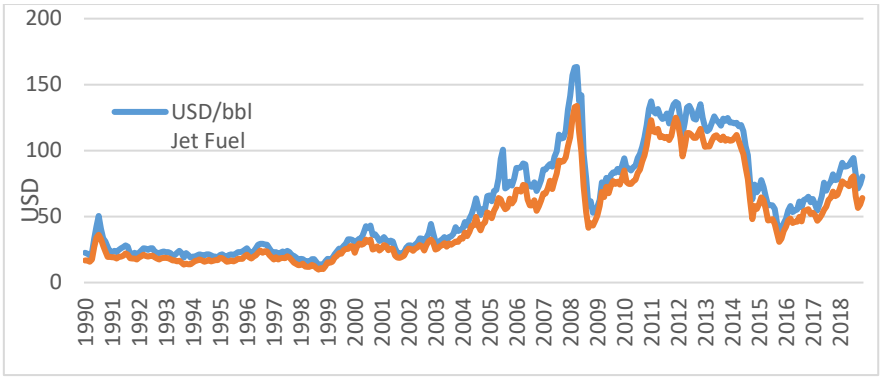


Figura 7.17 Precio del barril de jet fuel y precio del barril de Brent en dólares americanos. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [20].

La misma caída de precios que presentaban el diésel y la gasolina en el año 2009 se produce para el queroseno por el mismo motivo (ver Figura 7.17 y Figura 7.18). La tendencia, como en el caso de los otros carburantes, también es creciente.

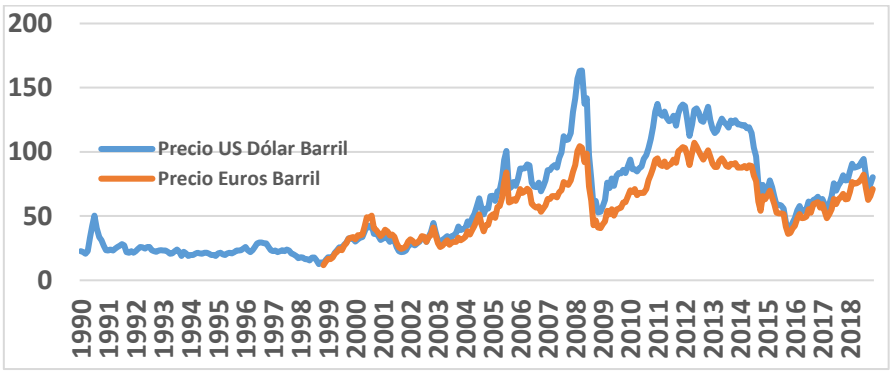


Figura 7.18 Precio en USD y Euros para el barril de Jet Fuel actualizada al tipo de cambio. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [20].

7.3.4 Mercado GLP

Producción

La producción de este combustible es la menor de todos los analizados hasta hora. De igual manera que ocurría en los otros casos, la producción española supone una porción muy reducida del total europeo. En la Figura 7.19 se muestra la producción de GLP en Europa y España.

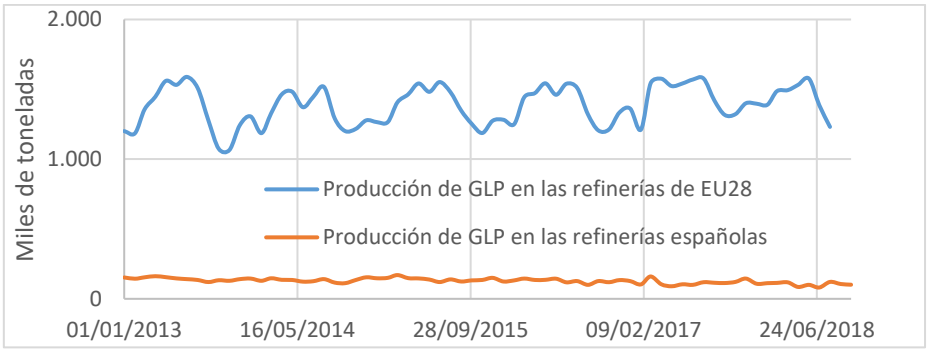


Figura 7.19 Producción de GLP en refinerías de EU28 y de España en el período 2013-2018. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [18].

Precios

A raíz de las limitaciones impuestas por la Unión Europea sobre la emisión de compuestos contaminantes el GLP ha recibido mucho empuje (aunque sin observarse demasiados frutos) por parte de los gobiernos (subvenciones para coches que utilicen GLP como combustible, por ejemplo). En la Figura 7.20 se muestra la evolución del precio del GLP para automoción.

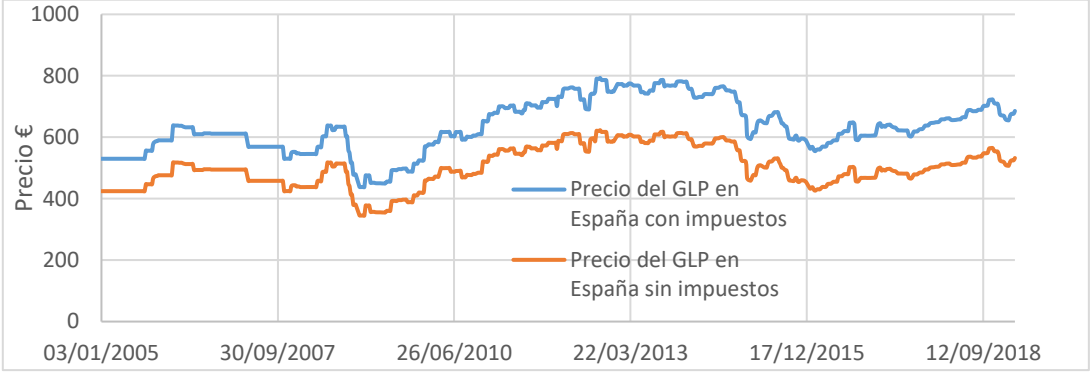


Figura 7.20 Precio por cada 1000L de GLP en España con y sin impuestos. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [19].

La misma caída de 2009 para los otros carburantes también se produce para el GLP, aunque no de una forma tan abrupta.



Figura 7.21 Porcentaje de impuestos sobre el GLP de motor en España. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [19].

De la Figura 7.21 se puede deducir la misma información que con los otros carburantes. Únicamente destaca la gran diferencia existente entre los impuestos aplicados a este combustible y a otros como la gasolina o el gasoil.

7.4. Dinámica del mercado gasolina/diésel

Incentivado por la disminución en los impuestos, el cambio de la gasolina al diésel comenzó 20 años atrás y dio lugar, por un lado, a un exceso en la capacidad de producción de gasolina y, por otro lado, a un aumento en la demanda de diésel que las refinerías no eran capaces de cubrir. Grosso modo, el ratio gasolina:diésel hace 20 años era de 2:1, a día de hoy es 2:6.

La popularización de los planes para la renovación de vehículos reforzó esta tendencia, llegando a sobrepasar, en el año 2016, la cantidad de coches de diésel a los de gasolina en la UE (49% de diésel y 46% de gasolina). A pesar de todo, éste no es el único factor que influyó en el despunte del diésel: el crecimiento continuo del transporte por carretera en la UE también ha contribuido al creciente aumento en la demanda de este combustible.

Eliminar la reducción de impuestos para el diésel sería una manera eficiente de recuperar el equilibrio en la demanda, pero también es posible hacerlo a través del aumento de la conversión de corrientes pesadas (fuel oil) en destilados medios (diésel y queroseno).

Aunque la Unión Europea es capaz de cubrir su demanda de gasolina (cuenta con una alta capacidad de producción de gasolina), todavía no es capaz de producir el diésel suficiente para satisfacer sus necesidades. Además de esto, las previsiones para el diésel en el período 2010-2020 apuntan a que la demanda se mantendrá estable, mientras que la de la gasolina caerá un 2% o 3% al año (ver Figura 7.22).

Mientras que la demanda de gasolina en la UE continúa descendiendo, la demanda de jet fuel y diésel marino y de carretera sigue aumentando. Sin balancear la demanda mediante la exportación de destilados ligeros como la gasolina, las refinerías europeas tendrán problemas para mantener sus operaciones.

Sin nuevos mercados para la exportación de la gasolina sobrante de la UE, es de esperar que el balance se equilibre mediante un ajuste en la producción. Esto ocurrirá mediante la disminución de la inversión en unidades de producción de gasolina (como FCC o reformado) o mediante el cierre completo de refinerías. La segunda opción afectaría inevitablemente al déficit de gasoil en la UE y por lo tanto haría aumentar la dependencia de países extranjeros, principalmente Rusia.

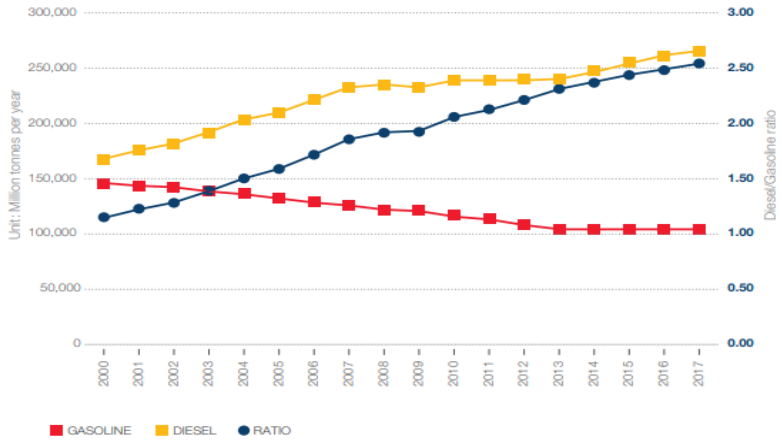


Figura 7.22 Demanda de combustibles de carretera en el período 2000-2017. Fuente: [18].

Los precios de los combustibles para el transporte han subido considerablemente durante los últimos años: el precio actual es prácticamente el triple del que era en la década de 1980. La capacidad de moverse libremente por todo el territorio es un factor fundamental para asegurar la competitividad económica de la Unión Europea.

La AIE prevé que el uso total de combustibles fósiles para el transporte descenderá cuando lo haga el transporte por carretera. Esta tendencia es cierta menos por el hecho de que la demanda de fuentes de energía que alimenten a aviación y transporte marítimo aumentará, tal y como se verá posteriormente en las previsiones de futuro. De todos modos, aunque se espera un ligero incremento en la demanda total de energía en el sector del transporte en el período 2009-2030, las previsiones dicen que la demanda global de productos refinados de petróleo caerá de 397 a 378 Mtoe. Cabe destacar que, aunque esto ocurra, los productos derivados del petróleo seguirán siendo la mayor parte del conjunto total.

Los últimos informes de la Comisión Europea demuestran que el mercado europeo de combustibles de transporte está todavía dominado por el diésel (ver Figura 7.23), que representa el 71,8% del total de combustibles vendidos en el año 2016. Además, las ventas totales de fuel aumentaron en un 2,7% desde el año 2015.

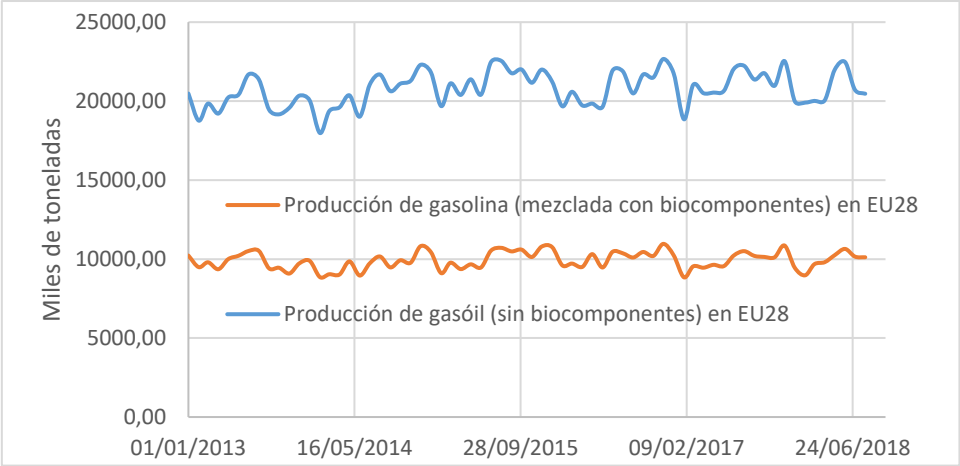


Figura 7.23 Producción de gasolina y gasoil en las refinerías de EU28 entre 2013 y 2018. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [18].

En 2016 las ventas de gasolina se mantuvieron prácticamente constantes mientras que las de diésel se incrementaron en un 3,8%. Esta gasolina vendida fue, principalmente, de un octanaje RON de 95 (86.3% del total de las ventas de gasolina). El 7,6% de la gasolina vendida correspondía a un octanaje RON superior a 95 e inferior a 98 y el 5,8% tuvo un octanaje RON superior o igual al 98 [18].

Casi todo el gasóleo vendido en la Unión Europea contiene biodiesel, mientras que en torno al 85% de la gasolina vendida contiene bioetanol. El 83% del diésel vendido en el año 2016 contenía hasta un 7% de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMEs) y un 17% contenía más. Respecto a la gasolina, ese mismo año el 75% del total vendido tenía hasta un 5% de contenido de etanol en volumen y el 10% contenía hasta un 10% de este componente [18].

La situación en España, mostrada en la Figura 7.24, es similar a la europea. La producción crece ligeramente a lo largo de los años y la producción de gasoil es muy superior a la de gasolina.

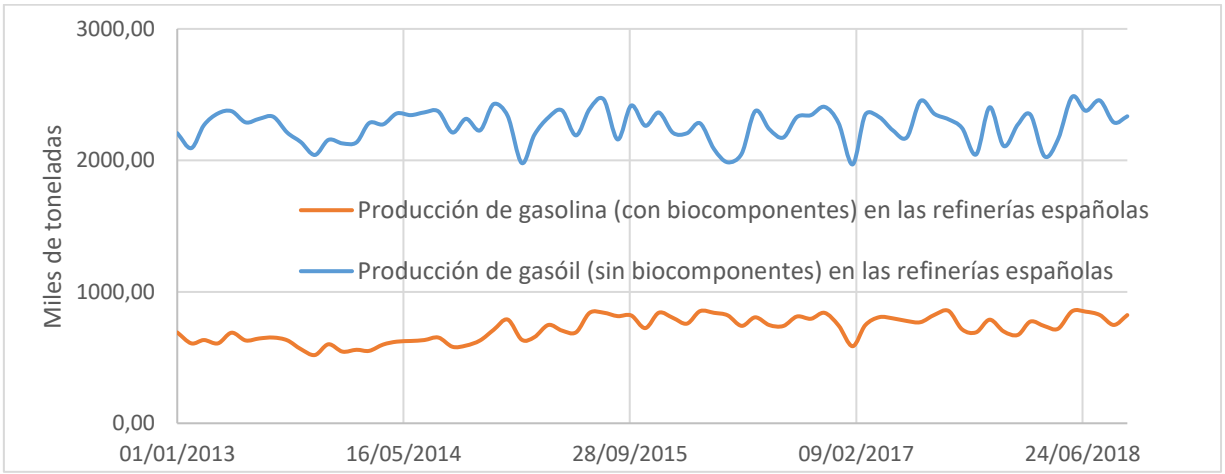


Figura 7.24 Comparativa de la producción de gasolina y gasoil en las refinerías españolas. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [18].

Por último, en la Tabla 7.2 se muestra la misma información expuesta anteriormente, pero en forma de datos.

Tabla 7.2 Comparativa de las producciones en refinerías europeas y españolas de gasolina y gasoil entre el año 2013 y 2018. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [18]

	Miles de toneladas					
	Gasolina (con biocomponentes)			Gasoil (sin biocomponentes)		
	EU28	EU27	España	EU28	EU27	España
2013	9815,08	9731,42	622,58	20046,00	19940,50	2231,92
2014	9624,50	9552,75	608,33	20369,17	20276,92	2287,17
2015	10090,25	10016,42	758,83	21398,00	21293,33	2288,83
2016	10157,67	10084,00	796,25	20906,33	20787,67	2223,75
2017	9942,58	9856,58	758,50	21187,83	21063,08	2261,92
2018	9882,75	9804,00	769,80	20701,25	20558,75	2279,50

7.5. Transición energética y previsiones de futuro

El cambio climático es un hecho y la sociedad actual se enfrenta a un futuro en el que es necesario satisfacer el aumento de la demanda energética reduciendo las emisiones de carbono.

En la Figura 7.25 se muestra que la energía renovable es la que más rápido está creciendo en toda la historia y se estima que pueda llegar a ocupar el 14% del total en el año 2040. Para ese mismo año se espera que el sector *Oil&Gas* ocupe el 40% del total, incluso cumpliendo con las metas del tratado de París.

También se espera que la participación de los combustibles fósiles al total energético global vaya disminuyendo a medida que se mejoran las eficiencias de los motores y se introduce mayor cantidad de biocombustibles en el transporte, así como el aumento en el uso de vehículos totalmente eléctricos o híbridos [21].

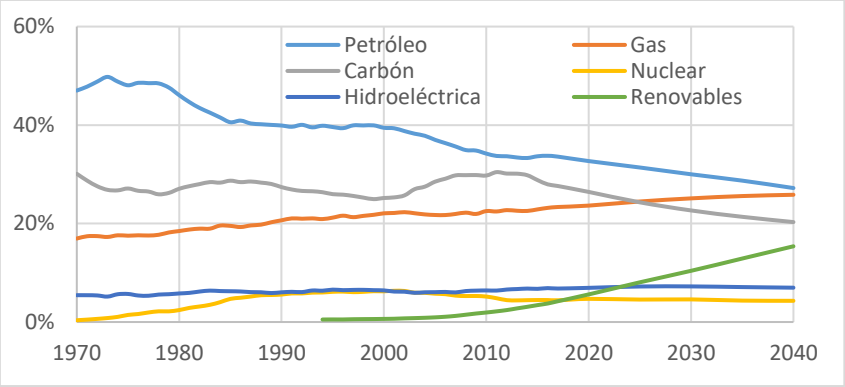


Figura 7.25 Porcentaje de uso las fuentes de energía desde 1970 y previsiones hasta 2040. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en [22].

Existen distintos escenarios planteados por las grandes empresas y, salvo en los casos más drásticos y desfavorables, el sector petrolífero seguirá siendo líder en el largo plazo. De la misma manera que los casos más desfavorables son improbables, los más favorables también lo son. Creer que el sector *Oil&Gas* dominará la energía mundial de forma ilimitada no tiene sentido, la

transición energética es un hecho y la industria avanzará hacia formas de energía más eficientes y más comprometidas con el medio ambiente.

La conclusión principal que se saca de todo lo expuesto en el estudio de mercado es que, aunque esté decreciendo, el petróleo y el gas seguirán liderando el mercado energético mundial en los próximos años. La transición energética no es incompatible con el petróleo, la eficiencia de los carburantes cada vez es más elevada y las emisiones son menores. Las energías renovables avanzan a pasos agigantados pero la dependencia de las no-renovales es (y será) un hecho a medio-largo plazo. [21]

Todas estas previsiones se tienen en cuenta siempre y cuando no aparezca una nueva fuente de energía alternativa, es decir, que tecnológicamente los avances sigan su curso.

7.5.1 IMO 2020

La *International Maritime Organisation* (Orgnización Marítima Internacional, de ahora en adelante IMO) es un organismo de las Naciones Unidas que se encarga de la seguridad de la navegación y de la prevención de la contaminación de los océanos por las emisiones de los buques. Es la autoridad mundial que se encarga de establecer normas para el transporte marítimo y, por lo tanto, la responsable de establecer un marco jurídico justo y eficaz. Es un organismo esencial ya que el transporte marítimo supone el 80% del transporte mundial de mercancías [23].

El 1 de enero de 2020 entrará en vigor una normativa que limita el nivel de contenido en azufre utilizado por los buques que operan fuera de las zonas de control designadas a 0,5% en masa. Hasta ahora, fuera de las zonas de especial protección (*Sulfur Emission Controlled Area, SECA)* este límite era del 3,5% en masa (en vigor desde el 1 de enero de 2012). De esta manera se pretende reducir considerablemente las emisiones de los buques y mejorar la salud y el medio ambiente mundiales (sobre todo de las poblaciones costeras) [23].

Esta legislación supone un reto para las refinerías y los buques tienen dos opciones posibles: utilizar fueles con menor contenido en azufre (fueloil reglamentario de bajo contenido en azufre, diésel, gasolina o gas) o instalar *strippers* dentro de los buques para depurar los gases de escape [23].

Todo apunta a que la primera opción será la más utilizada. Esto está muy relacionado con la guerra al diésel que han tomado los gobiernos a través de políticas de reducción de automóviles que utilicen este combustible. Existen bastantes probabilidades de que el diésel sea uno de los suplentes principales del fueloil en los combustibles de los buques por lo que, aunque los vehículos de gasoil se reduzcan considerablemente, no querrá decir que este combustible ya no tiene salida [23].

8. Análisis de alternativas

8.1. Introducción

Como ya se ha comentado en el análisis de mercado, a día de hoy todos los productores de combustibles, ya sea gasolina o diésel, se enfrentan a una demanda cada vez más exigente, con unas especificaciones cada vez más estrictas y a bajo coste. Por otro lado, los problemas de contaminación acompañan a esta demanda con unas limitaciones medioambientales, también cada vez más severas, que requieren la necesidad de refinar productos libres de hidrocarburos aromáticos y de combustión limpia.

A nivel mundial, se han desarrollado varias tecnologías relacionadas entre sí cuya finalidad es elevar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones, que se basan en diferentes procesos de conversión de refinería, como procesos de reformado catalítico, polimerización,

isomerización o alquilación. En concreto, entre las diferentes alternativas de procesos que conciernen a este trabajo, existen diferentes tecnologías competidoras que aprovecharían la alimentación de LPG olefínico en la refinería de A Coruña y la transformarían en productos de mayor valor añadido: hidrocarburos con puntos de ebullición y composición adecuados situados en el rango de la gasolina y destilados medios (diésel y queroseno).

La salida habitual del LPG olefínico al mercado es como butano comercial, limitando su contenido olefínico en 20% V/V. También existe la opción de utilizarlo como alimentación de isobuteno a unidades de ETBE, o para producción de productos con aplicación combustible.

En esta situación de mercado en la que el LPG olefínico comercial podría entrar en declive, es importante barajar diferentes alternativas que permitan darle otra salida a esta corriente de bajo valor añadido.

De todos los procesos de tratamiento de corrientes olefínicas ligeras, los mayores competidores y más extendidos en la industria petroquímica son los procesos de alquilación, tanto directa como indirecta, y oligomerización, cuyos productos son el alquilato y oligomerato, respectivamente, ambos de alto valor comercial para su aplicación combustible.

Este apartado de Alternativas se enfocará como un análisis de alternativas tecnológicas actuales de diferentes licenciatarios para estos procesos. De esta forma se ofrece una visión práctica y aplicable de las últimas opciones tecnológicas para la explotación de una situación en la que se aprovecha un sobreexceso de butano olefínico sin salida al mercado.

8.2. Alquilación directa

Los procesos de alquilación directa combinan una alimentación de olefinas ligeras del corte C3, C4 y C5 con una corriente de isobutano en presencia de un catalizador ácido fuerte. El producto de la reacción es un hidrocarburo parafínico ramificado de mayor peso molecular, de baja presión de vapor y de alto número de octano, válido para *blending* de gasolinas, denominado alquilato.

8.2.1 Reacción

La reacción principal de la alquilación consiste en la adición de un mol de isobutano a un mol de olefina (C3, C4, C5) para formar un mol de isoparafina (iC7-iC8).

$$\mathrm{iC_4H_{10}(isobutano)} + \mathrm{C_4H_8(butileno)} \rightarrow \mathrm{iC_8H_{10}(2{,}2{,}4,trimetilpentano)} + \mathrm{Calor} \qquad [1]$$

Esta reacción principal va acompañada de una serie de reacciones secundarias de polimerización de olefinas, desproporción, transferencia de hidrógeno, *cracking*... que dan lugar a polímeros de alto peso molecular, las cuales perjudican el octanaje del producto. Las reacciones no deseadas también provocan un mayor consumo de isobutano y catalizador ácido, y corrosión en equipos [24].

El mecanismo de la reacción partiendo del carbocatión formado a partir de una molécula de buteno se muestra en la Figura 8.1 con las diferentes opciones de reacción entre olefinas e isoparafina. Como se puede observar, el producto deseado se encuentra en el corte C8 (elevado octanaje).

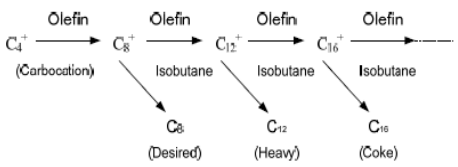


Figura 8.1 Mecanismo de alquilación de olefinas. Fuente: [24]

8.2.2 Situación en refinería

En la industria petroquímica y refinación de petróleo, la alquilación es un proceso que usualmente se realiza *downstream* de la unidad de craqueo catalítico FCC y MTBE/ETBE como se puede observar en la Figura 8.2. Dependiendo de su procedencia, la composición de la alimentación tendrá diferencias y en consecuencia el tipo de tratamiento y condiciones del proceso también variarán [6]

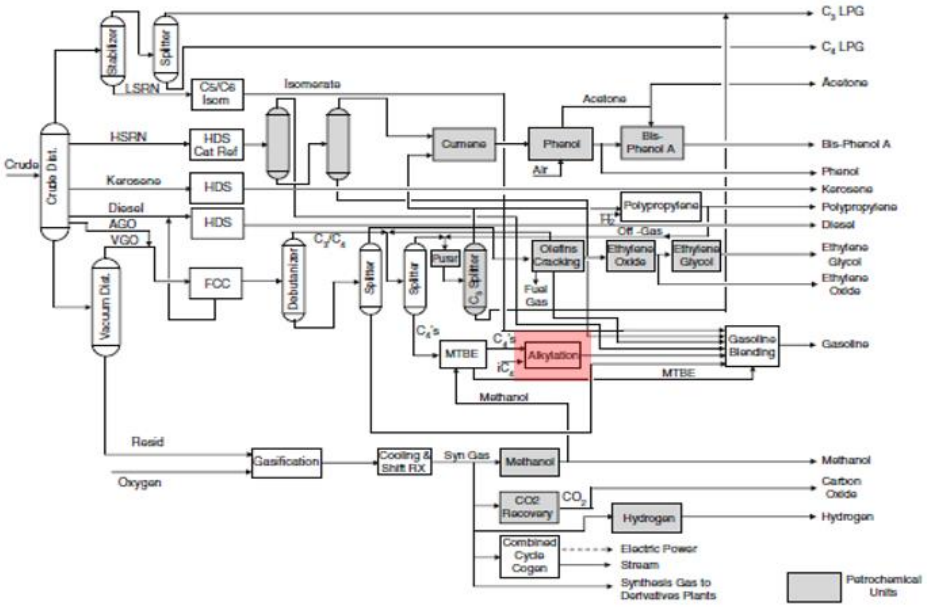


Figura 8.2 Integración de una unidad de alquilación. Fuente: [26]

Desde una perspectiva más ampliada, se muestra en la Figura 8.3:

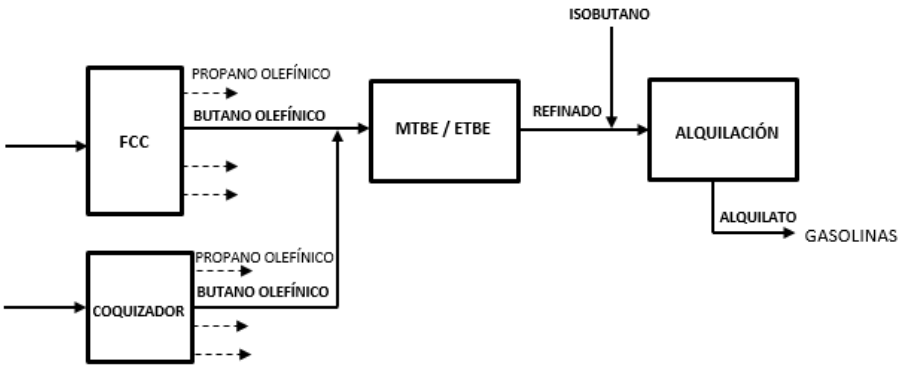


Figura 8.3 Integración de una unidad de alquilación en refinería. Fuente: Elaboración propia adaptado de [6]

8.2.3 Proceso de alquilación

El diagrama de bloques del proceso se muestra en la Figura 8.4. Dependiendo del tipo de catalizador ácido, los procesos tendrán diferencias, pero en prácticamente todos los procesos de alquilación se respetan las 5 secciones mostradas en los bloques.

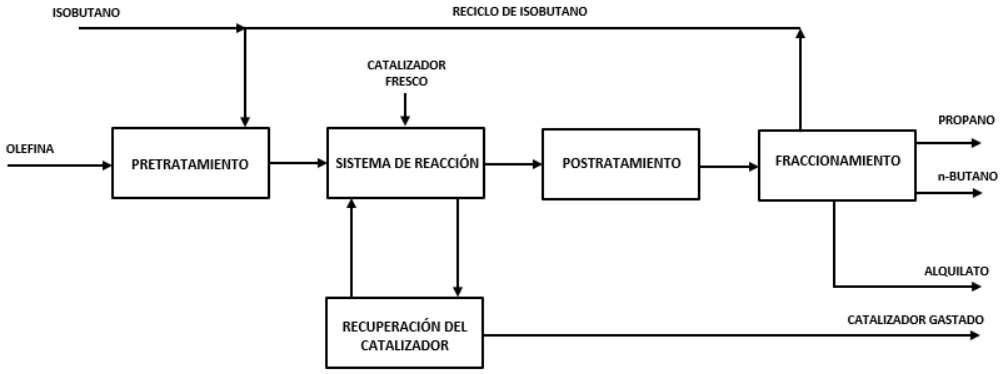


Figura 8.4 Diagrama de bloques general para procesos de alquilación Fuente: Elaboración propia adaptado de [6]

Las principales variables a controlar para favorecer la reacción principal y maximizar la calidad del alquilato son [6]: La temperatura del reactor, que debe ser baja ya que la reacción es exotérmica.

- Relación isobutano:olefinas alta, del orden de 6:1 a 13:1, puesto que las olefinas son compuestos muy reactivos que polimerizan rápidamente,
- La fuerza ácida del catalizador
- El grado de mezcla de la alimentación
- Cortos tiempo de contacto entre reactivos y catalizador.

8.2.4 Catalizadores

Los primeros catalizadores utilizados con aplicación industrial fueron el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el ácido fluorhídrico (HF). Estos catalizadores ácidos se continúan utilizando actualmente, después de haber evolucionado considerablemente, pero conllevan una serie de desventajas en lo referido a impacto ambiental y seguridad.

El HF es un compuesto muy corrosivo y tóxico, con un punto de ebullición cercano a la temperatura ambiente. El H_2SO_4 se considera más seguro al ser un compuesto menos volátil, aunque también presenta corrosividad en equipos, pero conlleva la principal desventaja de que su consumo es elevado. Ambos catalizadores presentan inconvenientes, pero actualmente el H_2SO_4 se ha identificado como el más maduro tecnológicamente, siendo el más extendido y comercializado en refinerías de todo el mundo [24]. En la Tabla 8.1 se realiza una comparativa entre ambos.

Tabla 8.1 Consideraciones de H_2SO_4 vs HF. Fuente: Elaboración propia adaptado de [26]

	Ácido Sulfúrico	**Ácido Fluorhídrico**
Temperatura de reacción	Temperaturas bajas aumentan el octanaje Sistemas de H_2SO_4 trabajan a 45°F (7°C). Necesaria refrigeración	Sistemas de HF operan a 95°F (35°C). Agua fría es suficiente
Fuerza ácida	H_2SO_4 (88% en peso)	HF (86-92% en peso)
Efecto del agua	Disminuye la actividad del ácido	Corrosivo
Regeneración	Requiere de transporte del ácido gastado a una planta de ácido.	*On site*. No requiere de transporte de grandes cantidades de ácido.
Otros	Proceso dominante a nivel industrial Consumo grande de catalizador H_2SO_4	Ocupa menos espacio Peligrosidad de escapes de HF

Por otro lado, debido a estos aspectos perjudiciales, también se han desarrollado tecnologías relativamente novedosas que utilizan catalizadores sólidos ácidos, cuyo beneficio frente al HF y H_2SO_4 es que eliminan los problemas de seguridad relacionados con la volatilidad de las nubes ácidas de vapor y transporte de ácidos; y otros catalizadores líquidos iónicos, que todavía se encuentran en fase piloto.

8.2.5 Tecnologías alquilación

Proceso AlkyPlus, Honeywell UOP

La tecnología de alquilación AlkyPlus fue desarrollada en 2007 por UOP después de adquirir el proceso ConocoPhilipps HF Technology. El proceso utiliza olefinas ligeras, principalmente propileno y butileno, en combinación con isobutano, para la producción de un combustible para motor de alto contenido parafínico. La reacción tiene lugar en un medio ácido usando de catalizador ácido fluorhídrico (HF) bajo condiciones controladas [29].

El producto alquilato tiene alto grado de octanaje por su alto contenido en parafinas ramificadas, lo que le proporciona una excelente capacidad antidetonante. Además, se trata de un producto de combustión limpia, baja presión de vapor, bajo contenido en azufre y libre de compuestos aromáticos u olefínicos. Por estas calidades de producto, se trata de un excelente componente para el *blending* de gasolinas [29].

La Figura 8.5 muestra un esquema del proceso de alquilación HF UOP, proporcionado por el licenciatario Honeywell.

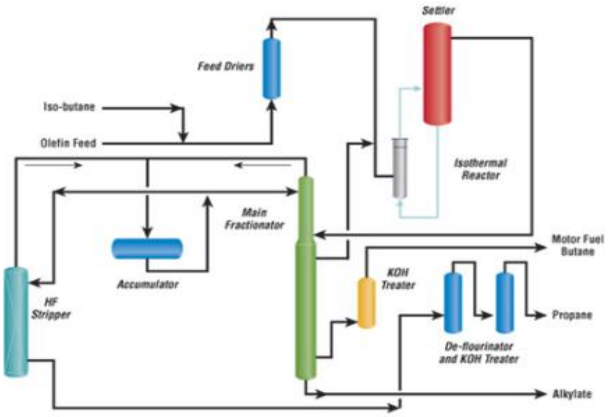


Figura 8.5 Esquema del proceso de alquilación HF UOP, Honeywell. Fuente: [28]

En primer lugar, la corriente de alimentación que contiene isobutano y contenido olefínico se seca para eliminar restos de agua antes de combinarse con la corriente de isobutano de reciclo. Al introducirse en el reactor, se dispersa dentro de una corriente de catalizador HF. La reacción ocurre de forma rápida, produciéndose el alquilato de alta calidad, y la corriente de salida del reactor se introduce dentro de un decantador para separar el catalizador por gravedad. La corriente de salida del separador contiene propano, isobutano de reciclo, butano, y alquilato. Esta corriente se introduce en una fraccionadora, de la cual se obtiene por cabezas una corriente de propano, que es tratada en un *stripper* de HF, una unidad de eliminación de fluor, y una de KOH antes de ser recuperado; una corriente de isobutano, el cual se recicla para alimentarse al reactor junto con la corriente seca de isobutano y olefinas; una corriente de n-butano, el cual se condensa y se dirige a la unidad de tratamiento con KOH antes de ser recuperado; y por último, una corriente de producto alquilato que se obtiene por colas de la columna.

Proceso de alquilación refrigerada H_2SO_4 STRATCO, DuPont

Diseñada por DuPont, las tecnologías de alquilación con ácido sulfúrico STRATCO se encuentran implantada en procesos de refinería desde 1930, y actualmente está expandido por todo el mundo [30].

En la Figura 8.6 puede verse el esquema general del proceso STRATCO. Este proceso puede dividirse en 5 secciones principales: reacción, refrigeración, tratamiento de efluentes.

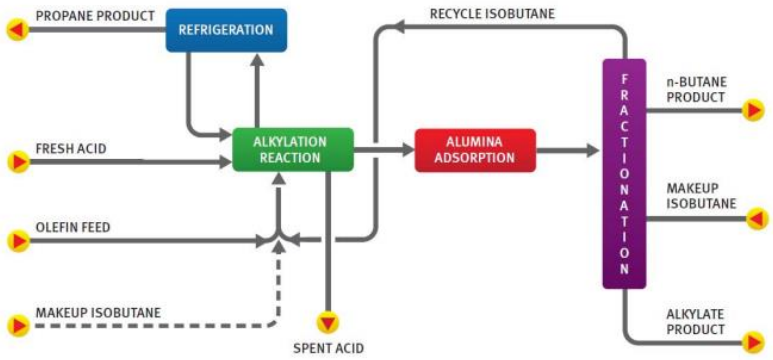


Figura 8.6 Esquema del proceso de alquilación STRATCO. Fuente: [32]

En la sección de reacción ocurre la conversión de olefinas e isobutano a alquilato en presencia de catalizador H_2SO_4. Previamente a la entrada al reactor, la temperatura de la corriente desciende a aproximadamente 16 °C (60°F) al intercambiar calor con una corriente efluente del proceso. Después de acondicionarse el contenido acuoso y de temperatura, la mezcla olefínica y parafínica se introduce en el reactor de contacto. Al tratarse de una reacción exotérmica, el calor es eliminado utilizando un sistema de efluente refrigerante.

El objetivo de la sección de refrigeración es eliminar el calor de reacción y eliminar los hidrocarburos ligeros (propano) de la unidad.

En la sección de tratamiento de efluentes de la unidad se eliminan del efluente principal las trazas de los componentes secundarios generados en el reactor por reacción entre el ácido y olefinas, como los alquilsulfatos que causarían problemas de corrosión en los siguientes equipos. Los procesos de tratamiento han ido evolucionando, pero los más efectivos actualmente son los que utilizan lavado con agua alcalina y con bauxita (alúmina).

La sección de fraccionamiento no es simplemente una sección de separación donde se separa el alquilato de los demás hidrocarburos. Como ocurre con las reacciones de alquilación, es necesario mantener una relación volumétrica isobutano:olefinas de 7:1 a 10:1, por lo que esta unidad también es responsable de mantener una corriente de reciclo de isobutano a la alimentación.

Por último, en la sección de purga los vapores ácidos se redirigen a un tanque de purga, donde se eliminan los restos líquidos que puedan encontrarse envueltos por el gas. De esta forma, todo el ácido utilizado se desgasifica, el pH de las corrientes de agua se ajusta, y las corrientes a venteo se neutralizan en un *scrubber* con una corriente de cáustico antes de expulsarse a la atmósfera.

Proceso CDAlky, McDermott

La tecnología de alquilación CDAlky se diferencia del resto en que utiliza un reactor vertical con un sistema de contacto ácido/hidrocarburo novedoso, diseñado por Lummus Technology. Este sistema consta de un agitador estático que reduce significativamente la resistencia a la

transferencia de materia en comparación a los reactores convencionales, además de reducir los costes de mantenimiento, parada y operación [32].

En la Figura 8.7 muestra el proceso de producción general de alquilación de olefinas de corte C_4 para obtener combustible alquilato limpio de alta calidad.

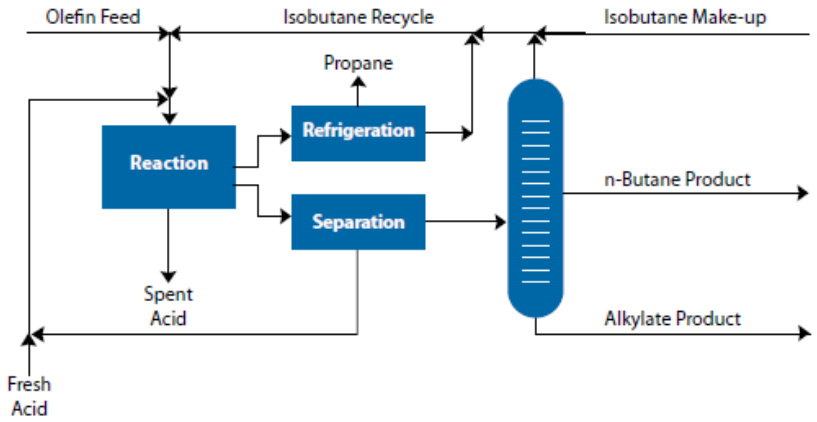


Figura 8.7 Esquema del proceso CDAlky. Fuente: [32]

El proceso CDAlky es menos complejo que los diseños convencionales y reduce el número de equipos, ya que no requiere mezcladores rotatorios. En consecuencia, al eliminar estos mezcladores, el tamaño de gota de las emulsiones formadas se optimiza y, con un previo filtro coalescente eficaz, se elimina la necesidad de etapas de lavado agua/alcalino post-reacción de las corrientes efluentes típicas de los procesos convencionales [32].

Los problemas de corrosión y ensuciamento, entendiendo a su vez costes de mantenimiento y riesgos en seguridad, también se minimizan al tratarse de una corriente libre de ácido a la salida del reactor. Por otro lado, el sistema de contacto permite reducir la temperatura de operación, inhibiendo de esta manera reacciones secundarias indeseadas e incrementar la selectividad hacia el corte C_8, lo que implicaría una mejor calidad y rendimiento en la generación de alquilato (RON 97-98) y una reducción del consumo de ácido de hasta el 50% o más [32].

Proceso AlkyClean, McDermott

El proceso AlkyClean elimina el uso de un catalizador líquido ácido para la producción de combustible alquilato, eliminando a su vez los peligros inherentes asociados con su manejo y operación. En este caso, el proceso desarrollado por CB&I, Albermarle y Neste Oil, con su primera aplicación industrial en la compañía Shandong Wonfull Petrochemical Group Co, Ltd. (Shangai, China) en 2015, y actualmente es comercializado por el proveedor McDermott [33].

La tecnología AlkyClean utiliza opta por utilizar un catalizador ácido sólido robusto, que permite trabajar a baja presión, en fase líquida en un rango de temperatura entre 50 y 90°C. Entre las principales ventajas destacan que no produce emisiones contaminantes al aire, agua o suelo, es tolerante a impurezas presentes en la alimentación, más barato que el costoso sistema de refrigeración necesario para el ácido sulfúrico y requiere de menores gastos de mantenimiento y monitorización, entre otros [33].

En la Figura 8.8 se muestra un esquema del proceso AlkyClean, que consta de 4 secciones principales: pretratamiento, reacción, regeneración del catalizador y destilación del producto.

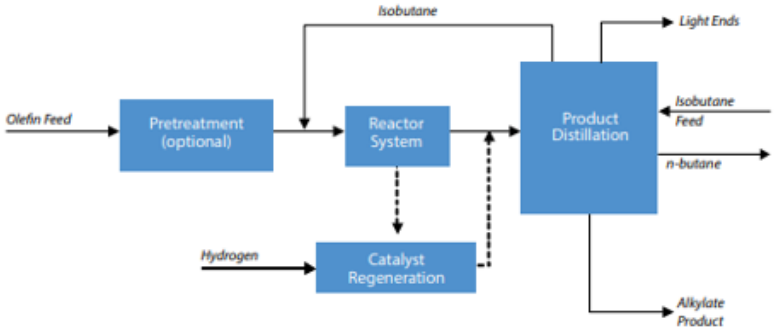


Figura 8.8 Esquema general del proceso AlkyClean. Fuente: [33]

La etapa de pretratamiento dependerá de la composición de la alimentación, que en caso de contener contaminantes, deben ser eliminados para evitar problemas *downstream*. La corriente una vez limpia, se combina con una corriente de isobutano de reciclo procedente de la columna de destilación, y entra al sistema de reacción. El reactor opera en fase líquida en un rango de temperatura entre 50 y 90°C, y presión entre 20 y 30 bar. Este sistema de reacción utiliza varios reactores para permitir una continua producción de alquilato, ya que en severas ocasiones, los reactores individuales se retiran para mantenimiento. En la etapa de regeneración del catalizador a baja temperatura, se detiene la alimentación de olefinas y se adiciona hidrógeno para alcanzar una concentración de hidrógeno óptima que mantenga las condiciones de operación adecuadas. Pese a esto, los catalizadores perderán actividad gradualmente, por lo que, como se explicaba antes, cada cierto tiempo los reactores se retirar individualmente para regenerar el catalizador con alta temperatura [33].

Proceso ISOALKY, Honeywell UOP

El proceso ISOALKY fue desarrollado en marzo de 2016 por Honeywell UOP y Chevron. Se diferencia del resto en que utiliza como catalizador un líquido iónico no volátil especial para generar el alquilato. Se trata de un líquido iónico cloroaluminato con trazas de HCl, que es generado *in situ* con la adición de cloro orgánico, como se observa en la Figura 8.9. Esto simplifica el manejo y es competidor a nivel económico y de eficiencia respecto al resto de catalizadores ácidos tanto líquidos como sólidos [34].

Actualmente es exclusivamente comercializado por Honeywell UOP, y se presenta como una alternativa viable en construcción de nuevas plantas, modificación o expansión de plantas ya existentes que usen HF o H_2SO_4 como catalizador

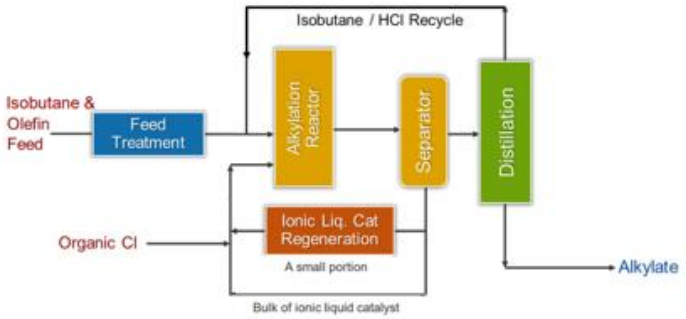


Figura 8.9 Esquema del proceso ISOALKY, Honeywell UOP. Fuente: [34]

Como los demás, permite revalorizar butanos olefínicos de bajo valor en componentes aptos para *blending* de alto valor comercial: presión de vapor baja, contenido de azufre, aromático y olefínico bajo, y alto octanaje [34].

8.2.6 Resumen tecnologías de alquilación

En la Tabla 8.2 se recogen las diferentes tecnologías alquilación explicadas con su respectivo licenciatario y el tipo de catalizador utilizado.

Tabla 8.2 Tecnologías de alquilación de diferentes proveedores. Fuente: Elaboración propia

Tecnología	Licenciatario/Proveedor	Catalizador
Proceso de alquilación HF UOP	Honeywell UOP	Ácido fluorhídrico
Proceso de alquilación refrigerada H_2SO_4 STRATCO	DuPont	Ácido sulfúrico
Proceso CDAlky	McDermott	Ácido sulfúrico
Proceso AlkyClean	McDermott	Sólido ácido
Proceso ISOALKY	Honeywell UOP	Líquido ácido iónico (Cloroaluminato/HCL)

8.3. Alquilación indirecta

La alquilación indirecta es otra variante del proceso de alquilación para generar el producto alquilato parafínico de alto octanaje. El proceso consiste en la dimerización de olefinas seguida por una hidrogenación, mientras que la alquilación directa se basa en la adición de olefinas a isobutano [35]. La diferencia entre alquilación directa e indirecta se muestra en la Figura 8.10.

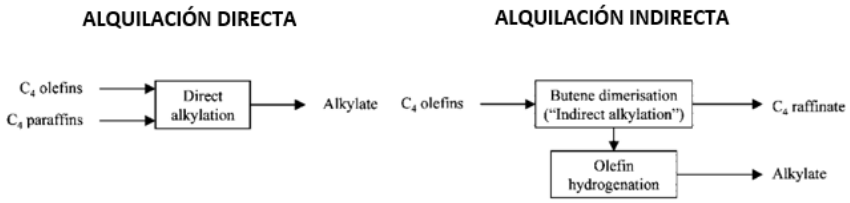


Figura 8.10 Procesos de alquilación directa vs indirecta. Fuente: [35]

Esto ofrece una mayor flexibilidad a la hora de aprovechar corrientes procedentes de diferentes unidades, ya que en el caso de la alquilación directa, la corriente de alimentación necesita de un contenido mínimo de isobutano, mientras que la indirecta no tiene ese problema. [36]

8.3.1 Reacción

La reacción de alquilación indirecta parte del isobuteno para polimerizarse hasta su dímero: el 2,2,4-Trimetilpenteno (TMP), que presenta dos isómeros: 2,4,4-Trimetil-1-penteno (Ecuación 2) y 2,4,4-Trimetil-2-penteno (Ecuación 3). La mezcla de estos dímeros se suele denominar diisobuteno (DIB), que puede continuar su oligomerización hasta la formación de trímeros (C12), tetrámeros (C16) o incluso moléculas más largar. Se trata de una reacción irreversible y altamente exotérmica (ΔH=-19,8kcal/mol) [36].

$$\text{Isobuteno} \rightarrow (2,4,4)\text{Trimetil} - 1 - \text{penteno} \qquad [2]$$

$$\text{Isobuteno} \rightarrow (2,4,4)\text{Trimetil} - 2 - \text{penteno} \qquad [3]$$

La reacción de dimerización es catalizada por un ácido siguiendo un mecanismo de carbocatión de tipo Whitmore, como el que se observa en la Figura 8.11. Esta reacción se ve favorecida a

temperaturas menores a 100°C, con altas velocidades de reacción para el isobuteno en comparación con el resto de olefinas de la alimentación (propeno, n-butenos, pentenos).

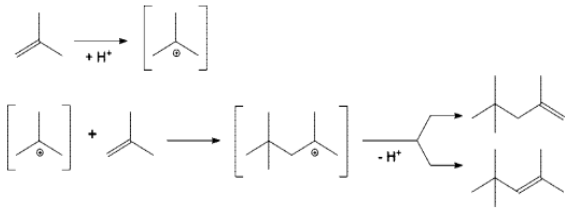


Figura 8.11 Reacción catalítica de dimerización de isobuteno a sus dímeros. Fuente: [35]

Por otra parte, la reacción se ve perjudicada si la concentración de isobuteno en la alimentación es alta, que provoca que el producto principal no sea el dímero sino oligómeros de mayor peso molecular. Esta distribución de productos se puede controlar utilizando una corriente de recirculación de disolvente polar (alcohol butílico terciario), procedente de la sección de recuperación. El alcohol se genera *in situ* añadiendo pequeñas cantidades de agua al proceso.

En la segunda etapa de reacción, el TMP se satura por medio de hidrógeno para formar isooctano (Ecuación 4), compuesto con gran capacidad antidetonante de mucho valor para su uso en el *pool* de gasolinas [36].

$$(2,4,4)\ \text{Trimetilpenteno} + H_2 \rightarrow (2,4,4)\ \text{Isooctano} \qquad [4]$$

8.3.2 Situación en refinería

La integración de una unidad de alquilación indirecta en una refinería es la misma que para la alquilación directa, ya que aprovecha las mismas corrientes olefínicas corte C4, que podrían proceder de las unidades de craqueo catalítico FCC, unidad de refinación de olefinas o deshidrogenación de isobutano [37].

8.3.3 Proceso de alquilación indirecta

Como se ha mencionado antes, los procesos de alquilación indirecta se llevan a cabo en dos etapas: la primera es una sección de dimerización selectiva de una corriente de olefinas (isobuteno) para generar su respectivo dímero (TMP), y una segunda sección de hidrogenación, donde se produce la saturación de la olefina para formar el producto final (isooctano), utilizando un catalizador metálico noble o no, dependiendo de la calidad de la alimentación. La corriente de salida del primer reactor debe introducirse en una columna de destilación para separar los compuestos de C_4 no reaccionados del producto de mayor peso molecular.

Un diagrama de bloques del proceso convencional comercial de alquilación indirecta se muestra en la Figura 8.12:

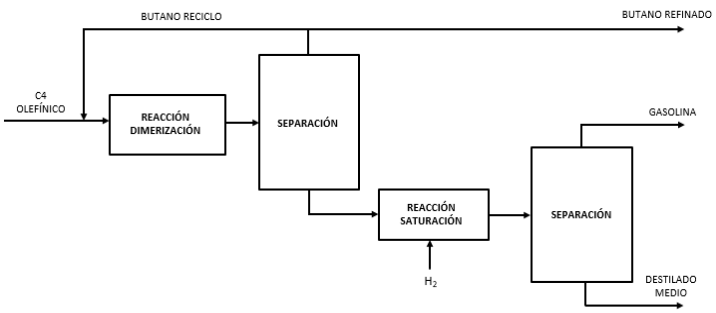


Figura 8.12 Esquema convencional del proceso de oligomerización. Fuente: Elaboración propia adaptado de [36]

8.3.4 Tecnologías de alquilación indirecta

NexOctane, NESTE

El proceso NEXOCTANE [37] es un proceso desarrollado por Fortum Oy, que utiliza como materia prima corrientes de hidrocarburos olefínicos ligeros, del corte C4, para la producción de isooctano, de alta capacidad antidetonante. La integración del proceso en una refinería es variable, funcionando correctamente para alimentaciones procedentes de FCC, unidades de refinación olefínica y deshidrogenación de isobutano.

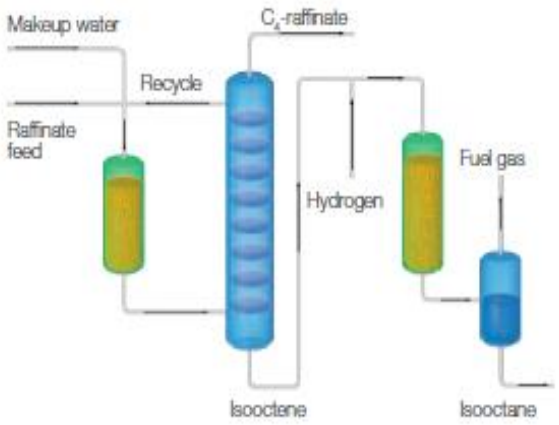


Figura 8.13 Esquema Proceso NexOctane. Fuente: [37]

La reacción de dimerización del isobuteno tiene lugar en fase líquida y en un reactor adiabático de lecho fijo, con una resina acídica de catalizador que permite el intercambio iónico.

La calidad del producto, especialmente la relación entre dímeros y oligómeros, se controla mediante la recirculación de alcohol desde la sección de separación, con la corriente que se puede ver en la Figura 8.13, el cual se genera como producto secundario en el reactor de dimerización por la presencia de cierto contenido acuoso en la alimentación olefínica. El contenido de este alcohol en el reactor se controla de forma que permita que el producto isoocteno contenga menos del 10% de oligómeros.

El producto de dimerización se lleva a una torre de destilación, de forma que se separe:

- Una fracción de C4 no reaccionada de la alimentación, limpia de compuestos oxigenados y que puede ser aprovechada posteriormente en una unidad de alquilación o deshidrogenación
- El producto isoocteno, que se dirige hacia la sección de hidrogenación
- Una cierta cantidad de alcohol concentrado que se recicla al reactor de dimerización con el objetivo explicado anteriormente

En la sección de hidrogenación, el isoocteno se convierte en isooctano saturado por adición de H_2, en un reactor de lecho de goteo, con una posterior estabilizadora del producto.

Este proceso consta de una gran flexibilidad de diseño a la hora de ser implantado en una refinería, ya que además de poder aprovechar las corrientes efluentes de FCC, deshidrogenación de isobutano… existe otra opción que sería la implantación de esta unidad reacondicionando a bajo costo las contaminantes unidades ETBE o MTBE.

Proceso InAlk UOP

Se trata de un proceso con un sistema de reacción de altas presiones y lecho fijo con catalizador ácido sólido que permite convertir olefinas ligeras (C3, C4 y C5) en alquilato de alta calidad, de combustión limpia, baja RVP, libre de olefinas, azufre y aromáticos [38].

Como es usual, al tratar corrientes con compuestos con doble enlace, es necesario adicionar compuestos moderadores que aumenten la selectividad de la reacción principal, de forma que se controle el aumento de temperatura.

El proceso InAlk combina dos tecnologías: la polimerización de las olefinas ligeras, y en una segunda etapa la saturación de las olefinas.

El isobuteno reacciona consigo mismo y con las olefinas C3-C5 en el primer reactor vía polimerización, utilizando como catalizador una resina ácida, o un sólido de ácido fosfórico (SPA), que también permitiría la conversión de n-butano. La salida del reactor se dirige a una etapa de estabilización. La mezcla resultado con isoolefinas de alto peso molecular es sometida a una etapa de hidrogenación en un segundo reactor que opera con un catalizador de metal base o metal noble, donde se consigue la saturación de las mismas para forma un producto similar al alquilato de mayor valor de octano. El hidrógeno se elimina y los productos livianos se someten a un *stripper* para ser eliminados [38].

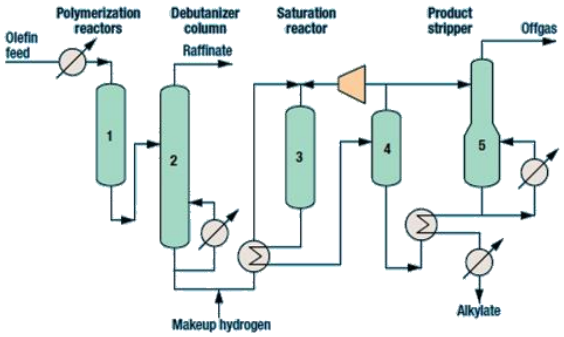


Figura 8.14 Esquema proceso InAlk UOP. Fuente: [39]

8.4. Oligomerización

La oligomerización consiste en un proceso de polimerización finita, donde los monómeros se convierten en oligómeros más complejos (dímeros, trímeros, tetrámeros) a través de reacciones con catalizadores ácidos. Las alimentaciones usuales en los procesos de oligomerización son olefinas cortas en el rango C2 a C5, y los productos pueden encontrarse en el rango de hasta 5 veces el número de carbonos del monómero. De esta manera, se convierten compuestos de poco valor en industria petroquímica, como son las olefinas por su alta reactividad, en moléculas más largas de mejor calidad en el rango de la gasolina, diésel y queroseno [40].

En sí, el proceso de oligomerización se puede encuadrar dentro de los procesos de polimerización, aunque no se trata de una polimerización en sí misma, ya que el objetivo de una polimerización en general es obtener moléculas muy largas partiendo del monómero inicial, y en la oligomerización esta polimerización se pretende finalizar cuando la estructura del monómero da lugar al dímero, trímero e incluso tetrámero, sin llegar a un producto peso molecular muy elevado que limitaría su aplicación en combustibles.

En los últimos años en refinería se está presentando como una alternativa versátil para adecuarse a diferentes situaciones como: aprovechamiento de la nafta ligera de FCC para maximizar la producción de destilados medios, reducir la RVP de las gasolinas convirtiendo los

cortes C4 y C5 en fracciones más pesadas, o bien reavalorizar las corrientes olefínicas C4 y C5 en productos de mayor valor comercial con salida al mercado.

8.4.1 Reacción

La reacción de oligomerización de olefinas se representa en la Ecuación 5 a continuación:

$$\mathrm{nC_mH_{2m}} \rightarrow \mathrm{C_{mn}H_{2mn}} \qquad [5]$$

Siendo m el número de carbonos en la olefina inicial y n el número de moléculas del monómero reactivo. La reacción de oligomerización ocurre sucesivamente: se inicia reaccionando dos monómeros de olefina entre sí, formando el dímero, y este reacciona con otra olefina adicional para formar el trímero, y así con el resto de oligómeros. En la Tabla 8.3 se muestran algunas reacciones de oligomerización para cortes C3 y C4.

Tabla 8.3 Reacciones de oligomerización. Fuente: Elaboración propia

Reactivos	Reacción	Productos
Propeno (Corte C3)	$2\ C_3H_6 \rightarrow C_6H_{12}$	Hexenos
	$3\ C_3H_6 \rightarrow C_9H_{18}$	Nonenos
	$4\ C_3H_6 \rightarrow C_9H_{18}$	Dodecenos
Butenos (Corte C4)	$2\ C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$	Octenos
	$3\ C_4H_8 \rightarrow C_{12}H_{24}$	Dodecenos
	$4\ C_4H_8 \rightarrow C_{16}H_{32}$	Hexadecenos
	$5\ C_4H_8 \rightarrow C_{20}H_{40}$	Eicosenos

La reacción de oligomerización combina múltiples olefinas, con un rango típico de cortes C2 a C6, y una química de reacción bien conocida sobre catalizadores sólidos. En la Figura 8.15 se muestran las etapas de la reacción de oligomerización para una alimentación de 1-buteno, debido a que es la olefina ligera con menor demanda, con reacciones secundarias de craqueo, y de transferencia de hidrógeno indeseadas, que causarían la formación de aromáticos [40].

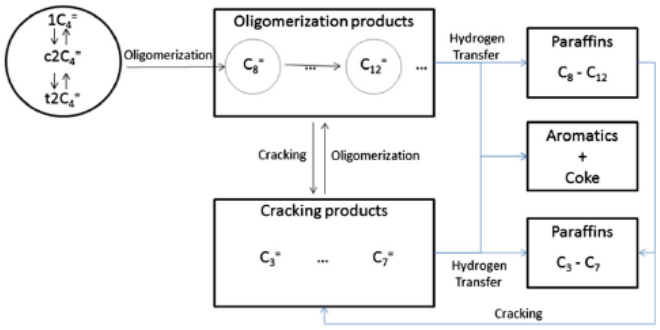


Figura 8.15 Esquema simplificado de las etapas de oligomerizaicón [Fuente: [40]]

Se trata de una reacción exotérmica, por lo que se debe retirar calor para mantener una temperatura óptima de operación, minimizando la posibilidad de generar otros oligómeros no deseados, de peso molecular elevado y puntos de ebullición no aptos para *blending* de gasolinas, que causarían la desactivación del catalizador.

8.4.2 Situación en refinería

En refinería, las olefinas son producidas generalmente en los procesos que implican craqueos, principalmente craqueo con vapor y craqueo catalítico FCC. El craqueo catalítico FCC es eficaz para la producción de gasolinas (C5-C12), pero no para la producción de diésel (C12-C22), que requiere de costosas unidades posteriores de hidroprocesado. Por otro lado, el problema de la contaminación en combustión está causando constantes actualizaciones cada vez más duras en materia de legislación.

Por este motivo, en este escenario actual de refinería, se plantea a la oligomerización de olefinas ligeras excedentes, generadas en FCC, como una ruta válida para la producción de combustible diésel, libre de componentes aromáticos, azufre y nitrógeno [40].

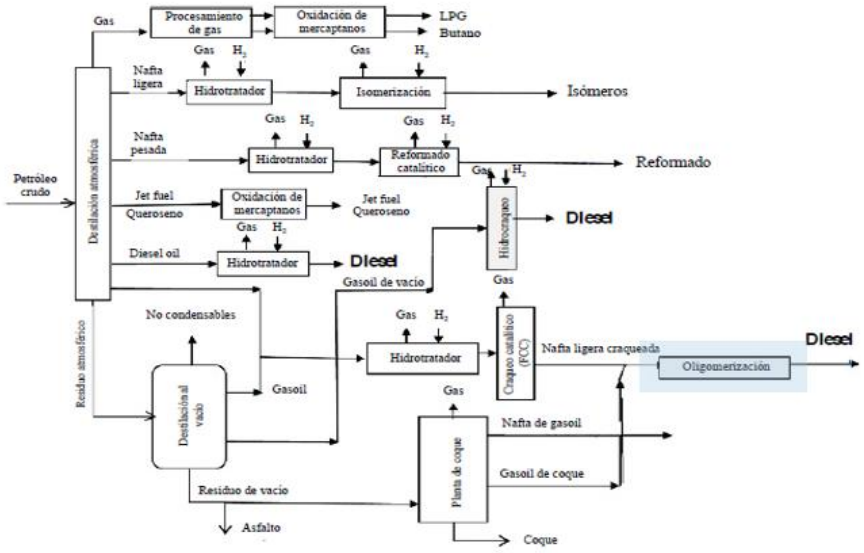


Figura 8.16 Integración de una unidad de oligomerización en refinería. Fuente: [38]

En la Figura 8.16 se muestra una opción de integración en refinería de una unidad de oligomerización, aprovechando las corrientes olefínicas de FCC y Coque.

8.4.3 Proceso de oligomerización

La oligomerización de olefinas ligeras, en el rango del propano y butano, representa una ruta industrial importante para la producción de combustibles líquidos libres de azufre y compuestos aromáticos. Según las diferentes técnicas, trabajando a temperaturas altas (>300°C) y bajas presiones (<30 bar) se incrementa el rendimiento hacia la formación de gasolinas, mientras que temperaturas más bajas y presiones altas favorece la formación de oligómeros más pesados en la fracción diésel. Se trata de una alternativa para producción de destilados medios de alta calidad, más respetuosa con el medioambiente que los otros procesos convencionales que causan emisiones de SO_x y más contaminantes [40].

El diagrama de bloques general que siguen los procesos de oligomerización se presenta en la Figura 8.17.

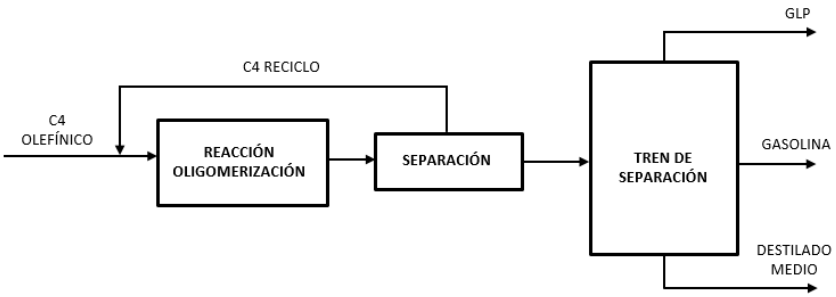


Figura 8.17 Diagrama de bloques proceso de oligomerización. Fuente: Elaboración propia

8.4.4 Tecnologías de oligomerización

Actualmente existen diferentes tecnologías comerciales de procesos de oligomerización de corrientes olefínicas para obtención de destilados medios. En ellas, la alimentación usual es LPG olefínico (C3 y C4), y naftas ligeras olefínicas (C5 y C6).

Proceso Catolene, UOP

El proceso Catolene UOP tiene dos variantes tecnológicas, dependiendo del producto que se requiera producir, ya sea maximizando la producción de propileno, o combustible [29].

En este caso, la opción tecnológica del proceso Catolene que interesaría sería la producción de combustible, con el esquema simplificado que se muestra en la Figura 8.18. Como se puede observar, el esquema del proceso consiste en dos reactores en serie seguidos por una sección de fraccionamiento. Respecto a las condiciones de operación, las temperaturas de entrada a los reactores son de 140°C y 190°C respectivamente, con un delta T superior a 30°, y una presión de operación de 33 bar [29].

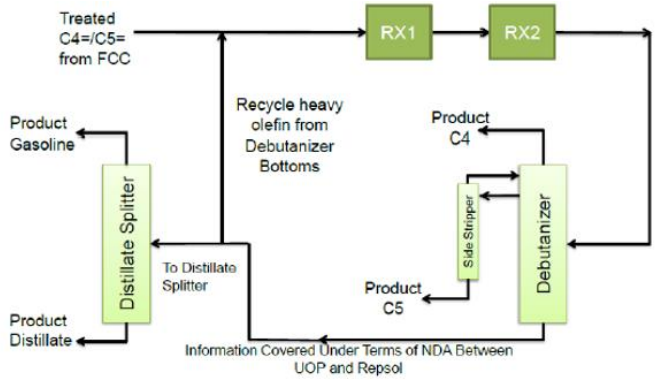


Figura 8.18 Esquema del proceso Catolene. Fuente: [29]

La alimentación típica del proceso consiste en una mezcla de hidrocarburos olefínicos y parafínicos del corte C3 a C6, procedentes de FCC, para producir diésel sobre un catalizador de zeolita. Dependiendo de la procedencia de la alimentación, UOP propone una etapa previa de pretratamiento eliminar nitrógeno y diolefinas, que provocarían un acortamiento del ciclo de vida catalítico de oligomerización.

El proceso Catolene para maximizar destilado requiere de un sistema de reacción en movimiento, para una constante operación y regeneración del catalizador. Alta temperatura y presión favorecen la formación de destilado, que puede llegar a conversiones de olefinas mayores del 95%, y una selectividad mayor al 65% de producto en el rango de destilado.

El producto de reacción se envía a una debutanizadora donde el corte C4 se separa de la corriente de oligomerato. Esta se envía a un *splitter*, consiguiendo un producto útil para

gasolina, y otro destilado medio de alta calidad, con alto contenido olefínico, por lo que será necesario una posterior saturación en una unidad de hidrotratamiento para usarlo en el *pool* de diésel [29].

Proceso Polynaphta, Axens

El proceso Polynaphta convierte los cortes C3, C4 y C5 de bajo valor añadido en gasolina y destilados medios por oligomerización de las olefinas. Fue desarrollado por IFP (*Institut Fraçais du Pétrole*) y Axens, y desde 1970 han ido sobreponiéndose a los procesos con catalizador SPA. En este caso, se utiliza un catalizador de sílice-alúmina amorfa (ASA), el cual no es nocivo para el medioambiente y es muy regenerable con un tiempo de vida que se puede prolongar hasta los 10 años [38].

Como se observa en Figura 8.19, el proceso consiste principalmente en dos reactores de lecho fijo en serie, donde se producen las reacciones de oligomerización, seguido por una sección de separación y fraccionamiento.

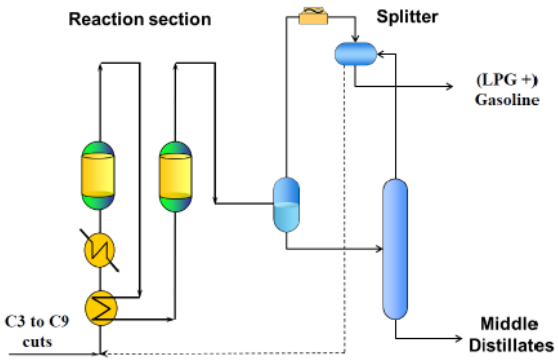


Figura 8.19 Esquema del proceso Polynaphta

En la sección de reacción se opera a temperaturas entre 150-250°C en función del momento de ciclo del catalizador, con una presión de 50 bar. Las reacciones de oligomerización son muy exotérmicas, por lo que la temperatura es una variable crítica en el proceso. Para controlar la exotermicidad, es usual utilizar intercambiadores de calor entre reactores, para rebajar el delta T, y también se utiliza una corriente de reciclo de alimentación no convertida que actúa como sumidero de calor, y aumenta la conversión global de las olefinas.

La conversión de olefinas se estima en torno a un 70%, con un rendimiento a destilados medios alrededor del 60% de la fracción olefínica. En el diseño de Axens, se suelen considerar además varios reactores en paralelo, para que mientras unos están en operación, otro se puede utilizar para regeneración del catalizador mediante quemado del carbón con aire.

La sección de separación está compuesta por una estabilizadora para la gasolina y una torre fraccionadora que lleva a cabo la separación gasolina/destilado medio.

Ambos productos gasolina y queroseno presentan muy buenas calidades. Por un lado se obtiene una gasolina de alto octanaje, con elevado RON (95-99), y por otro lado el destilado medio, principalmente queroseno. El número de cetano del destilado medio es bajo, en torno a 30, debido al carácter isoparafínico del producto una vez se ha sometido a la etapa de hidrogenación. Sin embargo, precisamente estas propiedades isoparafínicas le otorgan un comportamiento muy bueno en frío, con gran salida comercial como combustible Jet de aviación.

Tecnología FLEXENE [19]

Es importante mencionar que Axens ofrece comercialmente la posibilidad de integrar su tecnología de oligomerización con una Unidad de FCC. La combinación de la tecnología Polynaphta integrada con una unidad FCC se ha denominado Tecnología FLEXENE.

El esquema general del proceso integrado se muestra en la Figura 8.20.

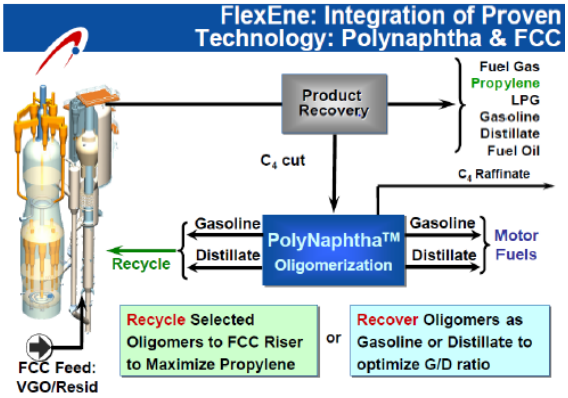


Figura 8.20 Tecnología FlexEne: Polynaphta y FCC [Fuente: [19]]

Este tipo de tecnología de integración en un complejo industrial ofrece flexibilidad según se quiera maximizar la producción de propileno, gasolina, destilados medios o Jet de aviación.

8.4.5 Resumen tecnologías de oligomerización

Tabla 8.4 Tecnologías de oligomerización

Proceso	Proveedor/Licenciatario	Catalizador
MOGD	Mobil	Zeolita HZSM-5
Catolene	Honeywell UOP	Sólido ácido fosfórico (SPA)
Polynaphta	Axens, IFP	Sílice-alúmina amorfa (ASA)

8.5. Justificación de la tecnología seleccionada

Información no disponible en la versión pública.

8.6. Valoración económica de la alternativa seleccionada

La introducción del proceso oligomerización de butano olefínico planteado por REPSOL es, sin duda, un negocio económicamente viable ya que ha sido estudiado por los profesionales de la empresa.

8.6.1 Comparación: Caso base y Oligomerización

Para comprobar si el proceso es realmente viable (al menos de forma preliminar) se valorará económicamente el proyecto estudiando el caso base y comparándolo con el actual proyecto:

- Caso base: Actualmente el C.I. Repsol Petróleo A Coruña produce a través del *Raffinate* de [redacted] una gran cantidad de butano olefínico (no apto para vender como butano comercial), una pequeña parte de butano comercial y muy poca gasolina. La Tabla 8.5 muestra el

beneficio bruto anual para una alimentación de 13,8 t/h de *Raffinate* y la conversión a cada uno de sus productos. Los beneficios para cada producto han sido calculados a través de sus precios, mostrados en la Tabla 8.5.

Tabla 8.5: Beneficio bruto anual para el caso base. Fuente: Elaboración propia

Información no disponible en la versión pública.

Esto significa un beneficio bruto de [redacted] ***Raffinate* procesada**.

- Oligomerización: La implantación de la unidad propuesta en el presente proyecto supondría la valorización del butano olefínico. Este producto, que puede venderse como tal, sería convertido en butano comercial, gasolina y destilado medio (DMA). Estos productos tienen mayor valor añadido que el butano olefínico (ver Tabla 8.7). En la Tabla 8.6 se presentan los beneficios brutos para el caso de estudio y los porcentajes de conversión a productos son los que se presentan en el Anexo 1. Balances de Materia y Energía.

Tabla 8.6: Beneficio bruto anual para el caso de oligomerización. Fuente: Elaboración propia

Información no disponible en la versión pública.

Lo que significa un beneficio bruto de [redacted].

Se puede observar que el beneficio bruto por cada tonelada procesada aumenta más de 100$ para la oligomerización respecto al caso base, por lo que se intuye que es un proceso enormemente rentable. Además, según los estudios llevados a cabo por la empresa, la producción de *Raffinate* también aumenta respecto al caso base por lo que el beneficio sería aun mayor.

Tabla 8.7: Precios de varios productos obtenidos durante el proceso de oligomerización

Información no disponible en la versión pública.

8.6.2 Conclusiones

En la Tabla 8.8 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 8.8: Resumen de resultados obtenidos.

Información no disponible en la versión pública.

Por cada tonelada de *Raffinate* procesada **se aumenta el beneficio en** [redacted] existiendo la posibilidad de aumentar el procesado de alimentación y, por consiguiente, el beneficio bruto.

9. Descripción del proceso

El diagrama de bloques del proceso de oligomerización puede ser presentado como se muestra en la Figura 9.1, realizando una distinción entre dos secciones principales de proceso.

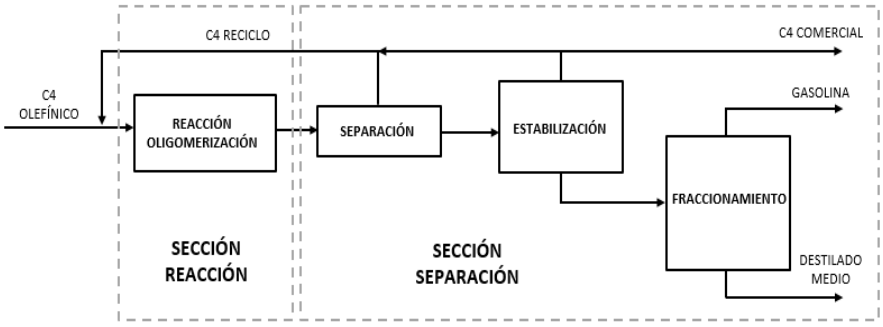


Figura 9.1 Diagrama de bloques del proceso de Oligomerización. Fuente: Elaboración propia

Una primera sección de reacción (100) en la que tienen lugar las reacciones de oligomerización de olefinas en un reactor [redacted]

La segunda sección de separación (200) está compuesta por un tren de equipos de separación en la que se separan los productos de reacción en tres corrientes diferentes. El producto más ligero GLP, que después de la etapa de reacción se encuentra dentro de especificación comercial y es almacenado en esferas de butano a [redacted]. El producto intermedio es corte de gasolina C5-C12, y el producto más pesado es destilado medio de corte C12-C20. Ambos son almacenados a [redacted] por separado.

La alimentación al proceso proviene de la unidad *upstream* de [redacted], y se trata de butano con alto contenido olefínico que se encuentra a una temperatura de [redacted]. En primer lugar se mezcla con una corriente de reciclo con mayor contenido parafínico. La mezcla de *Raffinate* [redacted]:reciclo es ajustada a una relación másica de [redacted] en peso para conseguir un ratio [redacted] en peso a la entrada al reactor R-101.

La corriente de reciclo es un parámetro clave, y la razón de su uso es múltiple:

- En primer lugar se ofrece una segunda oportunidad a las olefinas que no se han convertido en primera instancia para que puedan hacerlo en esta segunda vuelta, aumentando de esta manera la conversión global en la Unidad.
- En segundo lugar, el reciclo contiene un alto contenido en parafinas, que son inertes y actúan de sumidero de calor de las reacciones de oligomerización, que son altamente exotérmicas. Esto elimina la necesidad de una camisa de refrigeración y mantiene el [redacted]
- En tercer lugar, al aumentar el caudal de entrada al reactor, se asegura una operación por encima del caudal de *turndown* de diseño del mismo, favoreciendo distribución uniforme en el lecho catalítico y evitando la formación de caminos preferenciales.

Previamente a la etapa reactiva, las condiciones de operación son ajustadas hasta [redacted]. En primer lugar la presión se aumenta desde [redacted] mediante la bomba centrífuga P-101 que alimenta al proceso. Una vez adecuada la presión, el ajuste de temperatura se consigue con el intercambiador de calor carga/efluente E-101, aprovechando el calor de la corriente de salida del reactor en una estrategia de integración energética, y completando el ajuste de la temperatura posteriormente con la caldera de vapor E-102. La decisión de ajustar primero la presión se debe a que, pese a que la fase de la mezcla debe mantenerse siempre líquida, en caso de ocurrir una vaporización parcial en el intercambiador, de esta manera no se dañaría la bomba.

[4] Se incrementa solo hasta [redacted] para aprovechar una distribución de T más cercana [redacted] en el interior del reactor, teniendo en cuenta el deltaT en el lecho

Tras el ajuste de las condiciones de operación, la mezcla reactiva entra al reactor catalítico R-101, donde tienen lugar las reacciones de oligomerización en las que las olefinas de corte C4 se transforman en olefinas de alto peso molecular.

Después de la etapa reactiva, los productos reducen su temperatura [redacted] en el intercambiador carga/efluente E-101 mencionado anteriormente. Posteriormente se acondiciona hasta [redacted] mediante el aerorefrigerador E-103 y una válvula autorreguladora. Estas condiciones permiten una separación del corte C4 remanente (mayormente parafinas inertes y olefinas no reaccionadas) de los productos de reacción, mediante el separador Flash V-201. La corriente de vapor del Flash es condensada en el aerorefrigerador E-104 y almacenada en el tanque V-101 a [redacted] A la salida del tanque, la mezcla es bombeada por la bombeada una parte como reciclo a la alimentación y la parte restante es enviada hacia la estabilizadora T-201, después de ajustar la presión desde [redacted]. Esta corriente se junta con los fondos líquidos del flash, para entrar a la estabilizadora T-201 a [redacted].

La torre estabilizadora T-201 tiene como función controlar la presión de vapor de los productos más pesados separando como producto de cabezas la fracción de butano de la mezcla, que después de la conversión de la mayoría de las olefinas, se encuentra dentro de especificación y es almacenada en esferas de butano comercial.

Por último, el producto de colas de la estabilizadora es enviado a la fraccionadora T-202, que separa como producto de cabezas gasolina, y como producto de colas destilado medio.

10. Descripción de equipos

10.1. Listado de equipos

En la Tabla 10.1 se listan los equipos del proceso de oligomerización. Para localizar la situación del equipo en base a su identificación véase Diagrama de Flujo (Plano 3) del Documento II.

Tabla 10.1 Listado de equipos de la sección de reacción

Sección	Identificación	Tipo de equipo
Reacción 100	P-101 A/B	Bombas centrífugas
	E-101	Intercambiador de calor carga/efluente
	E-102	Caldera
	R-101	Reactor
	E-103	Aerorefrigerador
	VLV-101	Válvula de expansión
	E-104	Aerorefrigerador
	V-101	Tanque de reflujo
	P-102 A/B	Bombas centrífugas

Tabla 10.2 Listado de equipos de la sección de separación

Sección	Identificación	Tipo de equipo
Separación 200	V-201	Separador Flash
	VLV-201	Válvula de expansión
	T-201	Estabilizadora
	E-201	Aerorefrigerador
	V-202	Tanque de reflujo
	P-201 A/B	Bomba de reflujo

E-202	Caldera
P-202	Bomba centrífugas
E-203	Aerorefrigerador
T-202	Fraccionadora
E-204	Caldera
V-203	Tanque de reflujo
P-203 A/B	Bomba centrífugas
P-204	Bomba centrífugas
P-205	Bomba centrífugas

10.2. Equipos

Bomba P-101 A/B

Bomba centrífuga que impulsa la corriente de alimentación y reciclo hacia la entrada del reactor, ajustando su presión [redacted].

Intercambiador de calor carga/efluente E-101

Intercambiador de calor de integración energética que aprovecha el calor absorbido por los productos de reacción para cederlo en parte y aumentar la temperatura de los reactivos.

Caldera E-102

Caldera de vapor a media presión que incrementa la temperatura de los reactivos [redacted]

Reactores R-101 A/B

Reactor catalítico de lecho fijo donde tiene lugar la conversión de olefinas en sus respectivos dímeros, trímeros, tetrámeros y pentámeros.

Aerorrefrigerador E-103

Aerorefrigerador que reduce la temperatura de los productos de reacción hasta [redacted].

Válvula de expansión VLV-101

Válvula autorreguladora que reduce la presión de la línea [redacted] para acondicionar la mezcla previa entrada al separador flash V-201.

Aerorrefrigerador E-104

Aerorefrigerador que condensa la mezcla de parafinas y olefinas no reaccionadas que salen en fase vapor por cabezas del separador flash V-201.

Tanque de reflujo V-101

La función del tanque de almacenamiento V-101 es doble:

- Tener un nivel de líquido suficiente que permita proporcionar un caudal de reciclo a la alimentación para mantener una relación [redacted] en la entrada al reactor.
- Permitir un caudal de operación regular en el separador Flash V-201, eliminando la dependencia del caudal de vapor por cabezas en caso de ser insuficiente para mantener el caudal de reciclo necesario.

Bomba P-102 A/B

Bomba centrífuga que impulsa la corriente de salida del tanque V-101, una parte reciclada hacia la corriente de alimentación, y la restante hacia la torre estabilizadora T-201.

Separador Flash V-201

Separador Flash que opera a unas condiciones de [redacted] separando las olefinas y parafinas de corte C4 del resto de productos de reacción.

Válvula de expansión VLV-201

Válvula reguladora de presión que reduce la presión de la línea desde [redacted], para evitar un cambio brusco de presión al mezclarse con la corriente de fondos del separador Flash V-201.

Estabilizadora T-201

Columna estabilizadora que permite ajustar la presión de vapor de los productos más pesados eliminando la fracción C4 de la mezcla. Por cabezas sale butano comercial y por fondos una mezcla de hidrocarburos C5-C20 denominada oligomerato.

Aerorefrigerador E-201

Aerorefrigerador cuya función es condensar el producto de cabezas de la estabilizadora T-201.

Tanque de reflujo V-202

Tanque de reflujo de la estabilizadora T-201 que proporciona reflujo líquido a la torre por la parte superior.

Bomba P-201 A/B

Bomba de reflujo que devuelve líquido del condensador a la estabilizadora T-201.

Caldera E-202

Caldera cuya función es elevar la temperatura y vaporizar en parte la corriente de colas de la estabilizadora T-201.

Bomba P-202

Bomba de impulsión del producto butano comercial hacia esferas de almacenamiento a [redacted]

Fraccionadora T-202

Columna de destilación fraccionadora que separa las fracciones de corte C5-C12 (gasolina) del corte C12-C20 (destilado medio).

Aerorefrigerador E-203

Aerorefrigerador que condensa la corriente de vapor de la fraccionadora T-202.

Tanque de reflujo V-203

Tanque de reflujo de la fraccionadora T-202 que proporciona reflujo líquido a la torre por la parte superior.

Bomba P-203 A/B

Bomba de reflujo que devuelve líquido del condensador a la fraccionadora T-202.

Caldera E-204

Caldera cuya función es elevar la temperatura y vaporizar en parte la corriente de colas de la fraccionadora T-202.

Bomba P-204

Bomba de impulsión de corte gasolina hacia a almacenamiento a [redacted].

Bomba P-205

Bomba de impulsión de corte destilado medio hacia almacenamiento a [redacted].

11. Control e instrumentación

El objetivo del presente apartado de la memoria es comentar la estrategia de control escogida para el reactor R-101 y la fraccionadora T-202. Para el correcto entendimiento del control de los equipos se realizará una introducción teórica breve acerca los sistemas de control, así como los tipos de lazos de control que rigen el funcionamiento correcto de ambos equipos.

Posteriormente, se tratarán las estrategias de control para los equipos en cuestión, explicando la selección de las variables controladas y manipuladas de los mismos.

11.1. Introducción

Una planta química es un conjunto de unidades de proceso (reactores, intercambiadores de calor, bombas, columnas de destilación…) integrados conjuntamente de una manera sistemática y racional. El objetivo general de la planta es convertir ciertas materias primas en los productos deseados usando las fuentes de energía disponibles de la manera más económica posible [41].

Durante su operación, una planta química necesita satisfacer los requerimientos de los diseñadores (técnicos, económicos y sociales) en cualquier situación que pueda perturbar el correcto funcionamiento de la planta. Los objetivos de un sistema de control deben mantener la estabilidad y seguridad, asegurando la calidad y una dinámica adecuada sin violar las restricciones existentes, y con la mayor operabilidad, robustez y rentabilidad posibles.

Estos objetivos deben ser tratados de forma conjunta y no necesariamente en el orden expuesto. Dependiendo del tipo de proceso que se esté planteando existirán diferentes estrategias y diferentes prioridades [41].

Los requerimientos expuestos anteriormente dictan la necesidad de una monitorización continua de las variables de proceso más importantes además de una intervención externa para controlarlas (lo que sería la función del sistema de control). Esta intervención se consigue a través de la correcta organización de ciertos instrumentos como válvulas, controladores y computadoras, además de la intervención humana. Todo esto constituye el sistema de control [41] que, siguiendo la línea de la obra de *Stephanopoulos* [41] se puede definir adecuadamente a través del diagrama de la Figura 11.1

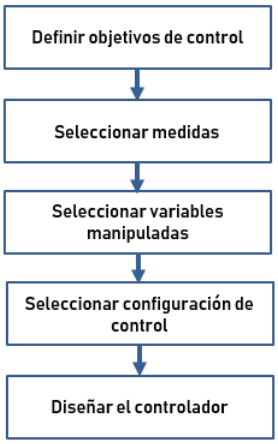


Figura 11.1 Elementos de diseño de un sistema de control. Fuente: [41]

11.1.1 Terminología de control

Para la comprensión de las estrategias de control, será necesario comentar las definiciones de algunos de los términos de la rama del Control de Procesos con la nomenclatura utilizada. A continuación, se presentan las definiciones de los términos necesarios [41]:

- Variable controlada: cualquier propiedad variable de un proceso que resulta importante para la calidad del producto o para la operación del proceso, además debe ser sensible a los cambios de la variable manipulada seleccionada. Sinónimo de variable de proceso.
- Variable manipulada: variable cuyo valor puede ser ajustado libremente por el operador o por un mecanismo de control.
- Controlador: Dispositivo que tiene una salida que cambia para regular una variable controlada. Puede ser un instrumento físico individual, analógico o digital, o puede ser el equivalente de ese instrumento configurado en un sistema de control distribuido, ordenador o cualquier tipo de procesador.
- Convertidor: dispositivo que recibe la información en forma de señal del instrumento y transmite la señal de salida en otra forma. También son conocidos como transductores, pero este término no es recomendable ya que es un término muy general. No debe confundirse convertidor con transmisor, el cual recibe la salida de un sensor y la cambia a una señal estándar.
- Elemento final de control: dispositivo que controla directamente el valor de la variable manipulada de un lazo de control. El elemento final de control en prácticamente todos los casos es una válvula.
- Elemento primario: sensor
- Lazo: combinación de dos o más instrumentos o funciones de control dispuestas de modo que las señales pasan de uno a otro con el propósito de medir y/o controlar una variable de proceso.

11.1.2 Identificación de lazos de control

Para identificar los lazos de control se seguirán los criterios expuestos en la norma ANSI-ISA-5.1-2009 de Identificación y Simbología de Instrumentación [43]. En la Tabla 11.1 se recoge el significado de las variables utilizadas en el proceso, pudiendo consultar la nomenclatura completa en la norma citada anteriormente.

Tabla 11.1: Nomenclatura de los lazos de control. Fuente: Adaptación de [43]

	PRIMERA LETRA		LETRAS SUCESIVAS		
	VARIABLE MEDIDA O INICIADORA	**MODIFICADOR**	**LECTURA O FUNCIÓN PASIVA**	**FUNCIÓN DE SALIDA**	**MODIFICADOR**
C	CONDUCTIVIDAD			REGULADOR	
F	CAUDAL	RELACIÓN			
G	INDICACIÓN		VIDRIO		
H	MANUAL				ALTO
I	CORRIENTE ELÉCTRICA		INDICADOR		
L	NIVEL		LUZ (PILOTO)		BAJO
P	PRESIÓN		PUNTO (CONEXIÓN)		
S	VELOCIDAD DE FRECUENCIA	SEGURIDAD		CONMUTADOR	
T	TEMPERATURA			TRANSMISOR	
V	VISCOSIDAD			VÁLVULA PISTÓN	
X	CORTE		COMPARADOR	SIN CLASIFICAR	SIN CLASIFICAR
Y	LIBRE DISPOSICIÓN			RELÉ	

En la Figura 11.2 se recogen los símbolos estipulados en la Norma [43] que son utilizados en la elaboración del diagrama de tuberías e instrumentación presente en este proyecto.

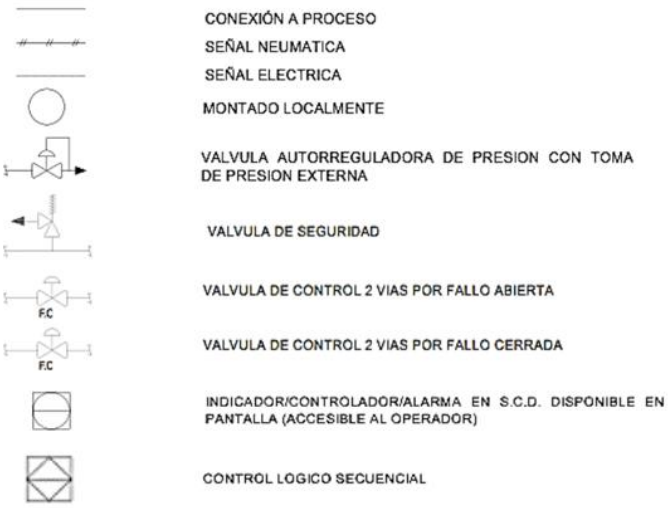


Figura 11.2 Simbología utilizada en el diagrama de tuberías e instrumentación. Fuente: adaptación de [43]

11.2. Control del caudal de *Raffinate*

El control del flujo de alimentación a la unidad se realiza a través de una estrategia *feedback* estándar. Con la finalidad de mantener un flujo de alimentación constante de 18,3 tm/h de *Raffinate* de [redacted], el transmisor de flujo FT 101 envía la señal medida al controlador e indicador de flujo FIC 101 que, tras comparar con el punto de consigna, actúa sobre la válvula de control FV 101 regulando la apertura para ajustar el flujo.

Tabla 11.2: Instrumentos del Lazo 101.

Instrumento	Identificación
Transmisor de flujo	FT 101
Controlador e indicador de flujo	FIC 101
Válvula de flujo	FV 101

11.3. Control del reactor R-101

El control del reactor es un factor clave en todo el proceso químico, ya que lo que ocurra dentro de él condicionará el rendimiento, calidad y economía de los productos obtenidos, y en consecuencia tendrá efecto sobre todas las etapas posteriores, por lo que el diseño de un sistema de control adecuado es de vital importancia.

Los objetivos del sistema de control del reactor se exponen a continuación:

- Maximizar la conversión de contenido olefínico manteniendo la capacidad de producción en los límites establecidos.
- Optimización de las utilidades requeridas: cantidad de vapor utilizada en la caldera E-102.
- Evitar formación de compuestos contaminantes a través de reacciones secundarias
- Garantizar una distribución adecuada de la mezcla en la corriente de salida, con el fin de facilitar la separación en etapas posteriores.
- Reducir el impacto de perturbaciones en la alimentación y utilidades.

- Temperatura en el interior y a la salida del reactor.

Estrategia de control

Como ya se ha comentado, es fundamental controlar la temperatura a la entrada, en el interior y a la salida del reactor. Este control no es ni simple ni intuitivo ya que, a diferencia de muchos procesos de reacción, una buena temperatura vendrá dada por la temperatura de la corriente de alimentación y de la relación olefinas:parafinas en la misma corriente.

Para alcanzar el propósito de control será necesario actuar sobre estos dos parámetros. La temperatura de entrada viene dada por la energía transferida en el intercambiador E-102, pero la relación de olefinas:parafinas, establecida según la apertura de la válvula en la corriente de reciclo, depende de los siguientes factores:

- Condiciones de operación normales ([redacted]
- Temperatura de la corriente de salida de R-101. Ante un aumento de temperatura en esta corriente será necesario disminuir la relación olefinas:parafinas para mantener las condiciones dentro de los límites de operación.
- Nivel en el tanque de reciclo V-101. El caudal reciclado dependerá del nivel en este tanque ya que ante un nivel demasiado elevado será necesario aumentar el caudal reciclado.

Para ajustar la temperatura de la corriente de entrada al reactor se establecerá un control en cascada sobre la válvula que regula el flujo de vapor que entra al intercambiador.

Por otra parte, para mantener la temperatura del reactor dentro de los límites operativos se establecerá un control selectivo que, en función de la variable de proceso más restrictiva, ajuste la apertura de la válvula de control de la corriente de reciclo.

Variables controladas

- Nivel en el tanque de reciclo V-101.
- Flujo en la corriente de reciclo.
- Flujo en la corriente de alimentación
- Temperatura en la corriente de entrada al reactor.
- Temperatura en la corriente de salida del reactor.

Variables manipuladas

- Flujo de vapor que entra al cambiador E-202 (a través de FV 108).
- Flujo de la corriente de reciclo (a través de FV 102).

Control de temperatura de alimentación al reactor: Lazo 108

Como ya se ha comentado, esta estrategia se basa en un control en cascada que actúe sobre el flujo de vapor alimentado al cambiador E-102. El transmisor de temperatura TT 108 medirá y enviará una señal al controlador e indicador de temperatura TIC 108, que marcará el *set point* del controlador de flujo FC 108. Este controlador comparará la señal recibida del transmisor de flujo FT 108 y ajustará la apertura de la válvula FV 108 para satisfacer el punto de consigna establecido por el controlador maestro.

Se ha seleccionado este tipo de control dado que, al estar actuando sobre el flujo de una utilidad (que es más susceptible a perturbaciones que las corrientes de proceso), la actuación será más rápida y más estable a través de un control de flujo que de uno de temperatura.

Tabla 11.3: Instrumentos del lazo de control 108

Instrumento	Identificación
Transmisor de temperatura	TT 108
Indicador y controlador de temperatura	TIC 108
Controlador de flujo	FC 108
Transmisor de flujo	FT 108
Válvula de flujo	FV 108

Control de temperatura a la salida del reactor: Lazo 102

Ya que el delta T en el reactor es un parámetro crítico debido a la exotermicidad de las reacciones, será necesario establecer un control selectivo (de máxima) que decida qué relación en peso olefinas:parafinas entra al reactor. Para ello se establecerán tres niveles de restricción que determinarán qué apertura en la válvula FV 102 es necesaria para mantener las condiciones de proceso dentro de los valores deseados. Estos niveles, por orden creciente de restricción, son los siguientes:

1. Relación olefinas:parafinas [redacted]: En teoría, siempre y cuando se mantenga esta relación no tendrá lugar un aumento de temperatura en el reactor. Durante la operación normal existirán perturbaciones por lo que será necesario registrar la relación actual en cada momento y ajustar la apertura de la válvula para poder amortiguar dichas perturbaciones. Esa es la función del comparador FX 102, que compara las señales recibidas de los controladores e indicadores de flujo FIC 101 y FIC 114 (caudales de alimentación y de reciclo, respectivamente). Después de realizar la comparación envía una señal al comparador HS 102 que, en caso de que no se reciba ninguna señal que marque una apertura de válvula mayor que la que indica el comparador FX 102, establece dicha señal como *set point* para el controlador de flujo FC 102, que actúa sobre la válvula de flujo FV 102 para satisfacer la relación prestablecida.
2. Temperatura de salida del reactor: Dado que las fluctuaciones en la composición de las corrientes de alimentación y reciclo puede provocar un desajuste en la temperatura del reactor que no pueda ser amortiguado por el control de ratio explicado en el punto anterior, es necesario introducir un nuevo nivel de restricción en el control selectivo. El transmisor de temperatura TT 102 enviará una señal al indicador y controlador de temperatura TIC 102, que a su vez de comunicará con el selector HS 102. Si la apertura de válvula que requiere satisfacer el punto de consigna establecido por el TIC 102 es mayor que la que requiere satisfacer al FX 102, el selector priorizará mantener la temperatura a la salida del reactor antes que mantener el ratio olefinas:parafinas y para ello establecerá la apertura de válvula tras comparar el *set point* recibido con la señal que marca el controlador de flujo FT 202.
3. Nivel del tanque de reflujo V-101: El último nivel de restricción al que está sometido el comparador HS 102 es el nivel del tanque V-101. Si el nivel está demasiado alto se activarán las alarmas correspondientes al lazo LI 109 y será necesaria la intervención de un operador de planta para subsanar el problema. En caso de que el nivel siga creciendo, el transmisor de nivel LT 102 enviará una señal al indicador y controlador de temperatura LIC 102, que enviará su *set point* al comparador HS 102. Si la apertura de válvula que indica el LIC 102 es mayor que las indicadas por los controladores RX 102 y TIC 102, el controlador FC 102 establecerá el punto de consigna en función a esta restricción y, tras compararlo con la señal recibida por el FT 102, ajustará la apertura de la válvula FV 102 para mantener el nivel del tanque dentro de los valores operativos.

Este tipo de control es un paso intermedio entre una estrategia de control normal y un sistema de seguridad. Para facilitar la compresión de su funcionamiento se hará un breve resumen a través del siguiente ejemplo:

En condiciones de operación normales el controlador de flujo FC 102 está recibiendo el *set point* establecido por el comparador FX 102, de manera que la relación olefinas:parafinas se encuentra dentro del margen operativo y la temperatura del reactor R-101 está dentro de los valores admitidos. Por alguna razón se produce una perturbación en la unidad de [redacted] y la composición de la corriente de alimentación tiene un mayor contenido en olefinas de lo habitual. El comparador FX 102 no tiene la capacidad suficiente para conocer esta información ya que su única función es calcular la relación en peso de la corriente de reciclo y la corriente de alimentación fresca. Este aumento en la cantidad de olefinas hará aumentar la temperatura del reactor y, por consiguiente, el transmisor TT 102 enviará su señal al TIC 102, que establecerá un punto de consigna y lo enviará al selector de alta HS 102. El selector HS 102 está hasta el momento, recibiendo dos informaciones: la primera es el *set point* establecido por FX 102 y la segunda es el establecido por el TIC 102. Ahora es cuando cabe preguntarse qué *set point* es el que debe recibir el controlador de flujo FC 102 para así poder actuar sobre la válvula FV 102. Dado que HS 102 es un selector de máxima, enviará al controlador de flujo FC 102 el punto de consigna que suponga la mayor apertura de la válvula, de modo que en el caso planteado primará la información obtenida del TIC 102 antes que la del FX 102. De esta manera se consigue amortiguar una perturbación que FX 102 hubiera pasado por alto pero que el TIC 102 fue capaz de detectar, gracias a la correcta selección del *set point* por parte del selector HS 102. Lo mismo ocurrirá cuando entre en juego el nivel del tanque V-101 pero con un nivel de restricción mayor.

La temperatura en el interior del reactor también estará monitorizada por los indicadores de temperatura TI 103, TI 104 y TI 105, que envían la señal registrada al panel para que los operadores en la sala de control tengan un fácil acceso a la medición.

Tabla 11.4: Instrumentos del lazo de control 102

Instrumento	Identificación
Comparador de flujo	FX 102
Transmisor de nivel	LT 102
Indicador y controlador de nivel	LIC 102
Transmisor de temperatura	TT 102
Indicador y controlador de temperatura	TIC 102
Comparador de máxima	HS 102
Transmisor de flujo	FT 102
Controlador de flujo	FC 102
Válvula de flujo	FV 102

11.4. Control de la columna de destilación T-202

Bases del sistema de control

En esta sección se plantearán las bases de diseño del sistema de control, es decir, los parámetros que han de ser cubiertos en un correcto funcionamiento del sistema de control.

- Seguridad y estabilidad: La operación debe tener lugar, en condiciones normales, de forma segura y estable. Ambas condiciones se van a cumplir siempre que el nivel (tanto en la columna como en el acumulador de cabezas), la temperatura y la presión se encuentren dentro de sus límites normales. Esto se alcanzará a través un buen control

del flujo de cabezas y colas, un buen control del caudal de vapor que se introduce en el *reboiler* y un buen control del sistema de pulmonación de la columna.

- Cumplimiento de las especificaciones de productos: Aunque la separación que tiene lugar dentro de la columna no es demasiado difícil de alcanzar, será necesario un buen control del caudal de reflujo y del vapor que entra al *reboiler* para asegurar que los productos salgan con las especificaciones deseadas.
- Ahorro de costes: Un control adecuado en el caudal de reflujo y en el caudal de vapor al *reboiler* es esencial para asegurar una operación óptima a nivel económico. Una mala regulación de estos parámetros aumentará el consumo energético de los equipos asociados a la columna y repercutirá en el beneficio de la actividad industrial.

Estrategia de control

El flujo de alimentación a T-202 vendrá dado por el controlador de nivel de la columna precedente, T-201. Como no existe ningún precalentador que acondicione la corriente de entrada a la T-202 no será necesario controlar la temperatura de la misma. Como el flujo de alimentación viene dado por el proceso *upstream* será necesario controlar cinco variables (y por lo tanto habrá cinco grados de libertad). Un grado de libertad se usará para establecer la presión en la columna a través del sistema pulmonado. Esta presión es un valor fijo y por tanto lo que varía es el vapor que existe dentro de la columna. Dos grados de libertad son necesarios para controlar el líquido en la columna mediante la variación del nivel de líquido-vapor en el fondo de la columna y en el tanque de reflujo.

Los dos grados de libertad restantes pueden ser utilizados para alcanzar la separación deseada (en términos de pureza) mediante el ajuste de dos flujos: el reflujo, que se controla a través de la temperatura de cabezas, que actúa como medida indirecta de la composición, y el flujo de vapor administrado al reboiler, que permite mantener un perfil de temperatura adecuado en la columna.

Variables controladas

Para mantener el proceso dentro de los límites de operación establecidos será necesario monitorizar y controlar las siguientes variables:

- Nivel de líquido en la columna: Será necesario controlar este parámetro para evitar que se produzca una inundación de la columna, lo cual podría desencadenar en complicaciones operativas o incluso en un escenario de accidente.
- Temperatura en el plato sensible: El plato sensible es aquel que más sufre la variación de caudal de vapor suministrado al *reboiler*. Se ubica, habitualmente, en el tercio inferior de la columna y es aquel que sirve de referencia para mantener el perfil de temperaturas dentro del recipiente.
- Nivel de líquido en el tanque de reflujo: Es un parámetro fundamental para controlar el funcionamiento correcto de la columna. Si tiene un nivel muy bajo no será posible alimentar reflujo a la columna, y si tiene un nivel muy alto existe la posibilidad de que se produzca un retorno de líquido al condensador, impidiendo la condensación completa del vapor obtenido por cabezas y, como consecuencia, un aumento de presión en la columna.
- Temperatura en cabezas: Se utilizará la temperatura en cabezas como medida indirecta de la composición del vapor obtenido. Según esta temperatura se decidirá si se necesita más o menos reflujo entrando a la columna.
- Presión en cabezas: Será necesario mantener una presión atmosférica constante en la cabeza de la torre. Para ello se instalará un sistema pulmonado que permita amortiguar las variaciones de presión que se produzcan en la columna.

Variables manipuladas

A continuación, se enumerarán las variables manipuladas, aquellas que serán alteradas a través de los elementos finales de control:

- Caudal de vapor que entra al *reboiler*. Éste actuará sobre la temperatura del plato sensible.
- Flujo en la corriente de producto de fondos. Ayudará a mantener el nivel deseado en la columna.
- Caudal de reflujo. Jugará un papel clave a la hora de mantener la temperatura deseada en la corriente de vapor obtenida por cabezas.
- Flujo en la corriente de producto de cabezas. Tendrá un impacto directo en el nivel del acumulador de cabezas.
- Flujo de vapor *bypaseado* al acumulador de cabezas. Ayudará a amortiguar los aumentos de presión en la cabeza de la torre.
- Flujo de vapor *bypaseado* a la torre. Ayudará a amortiguar las caídas de presión en la cabeza de la torre.

Control en cascada de la temperatura del plato sensible: Lazo 133

Como ya se ha comentado anteriormente, la distribución de la temperatura la columna se comprueba a través del plato sensible, que es aquel que más cambio de temperatura sufre ante variaciones en el flujo de vapor alimentado al *reboiler*. Para realizar este control se utilizará un control *feedback* en cascada. El transmisor de temperatura TT 133, ubicado en el plato sensible, enviará al controlador TIC 133 la señal correspondiente. Este controlador, que será el maestro, enviará su señal al controlador esclavo FC 133 y establecerá el punto de consigna a través de la información recibida. El controlador de flujo comparará el *set point* establecido por el controlador de temperatura con el valor ofrecido por el transmisor de flujo FT 133 y actuará sobre la válvula de control FV 133 variando el flujo de vapor que entra al *reboiler* de la columna. Como resultado se ajustará la temperatura del plato sensible a la más favorable para la operación.

Se podría conseguir un efecto similar con un control simple pero el vapor, al ser una utilidad, fluctuará habitualmente y eso hará variar sus condiciones de proceso. Por eso mismo, para tener un tiempo de respuesta menor, se ha decidido introducir el lazo en cascada.

Tabla 11.5: Instrumentos del lazo de control de temperatura 133.

Instrumento	Identificación
Transmisor de temperatura	TT 133
Controlador e indicador de temperatura	TIC 133
Controlador de flujo	FC 133
Transmisor de flujo	FT 133
Válvula de flujo	FV 133

Control de presión en el acumulador V-203: Lazos 128 y 129.

El control de presión en el acumulador se traduce en un control de presión en la cabeza de la torre. Gracias a las líneas *bypaseadas* desde la torre al acumulador se puede igualar la presión.

Lazo 128

Cuando el efecto de alguna perturbación se traduzca en un aumento de la presión, el transmisor PT 128 enviará una señal eléctrica a al indicador y controlador de presión PIC 128 que, previa comparación del valor con el *set point* establecido, actuará neumáticamente sobre la válvula de control PV 128 gracias a la intervención del convertidor PY 128, que transformará la señal eléctrica en neumática. La liberación de presión se hará directamente sobre el sistema de antorcha.

Tabla 11.6: Instrumentos del lazo de control de presión 128.

Instrumento	Identificación
Transmisor de presión	PT 128
Indicador y controlador de presión	PIC 128
Convertidor de señal neumática	PY 128
Válvula de presión	PV 128

Lazo 129

Cuando las perturbaciones provoquen una disminución de la presión en el acumulador, el sistema de control responderá aumentando la misma a través de una inyección de fuel gas. Cuando la señal que el transmisor de presión PT 129 envía al controlador PIC 129 difiera del *set point*, éste actuará sobre la válvula PV 129 permitiendo el paso de fuel gas de modo que se presurice el acumulador hasta el nivel deseado. De igual manera que en el lazo anterior, la señal enviada por el controlador a la válvula tiene que ser previamente convertida por el convertidor PY 126.

Tabla 11.7: Instrumentos del lazo de control de presión 129.

Instrumento	Identificación
Transmisor de presión	PT 129
Indicador y controlador de presión	PIC 129
Convertidor de señal	PY 129
Válvula de presión	PV 129

Control del flujo en el *bypass* torre-acumulador: Lazos 125 y 126

Este *bypass* tiene como finalidad no redundar el control de presión del acumulador de cabezas. A través de los lazos simples de control de flujo 125 y 126 se regula el flujo que se *bypassea* de la torre al acumulador para mantener la presión deseada.

Tabla 11.8: Instrumentos del lazo de control de flujo 125.

Instrumento	Identificación
Transmisor de flujo	FT 125
Indicador y controlador de flujo	TIC 125
Válvula de flujo	TV 125

Tabla 11.9: Instrumentos el lazo de control de flujo 126.

Instrumento	Identificación
Transmisor de flujo	FT 126
Indicador y controlador de flujo	TIC 126
Válvula de flujo	TV 126

Control de temperatura en la cabeza de la columna: Lazo 127

Controlar la temperatura en la cabeza de la columna es sinónimo de controlar la composición. A través de la temperatura del vapor obtenido se puede extrapolar su composición: si la temperatura es menor del punto de rocío de la mezcla deseada se está obteniendo más producto pesado del deseado y si es mayor se está obteniendo menos producto ligero del

necesario. Lo ideal será mantener la cabeza a la temperatura de rocío de la mezcla que se desea obtener.

Para alcanzar este propósito se instalará el transmisor de temperatura TT 127, que enviará el valor actual al controlador e indicador TIC 127. Este controlador, tras comparar el valor obtenido con el punto de consigna, actuará sobre la válvula TV 127 regulando el caudal de reflujo en la torre y afectando así a la temperatura del producto obtenido por cabezas.

Se podría haber planteado un control en cascada como el utilizado para el control del plato sensible, pero, en este caso, no se ha considerado necesario. El caudal de reflujo no está sujeto a fluctuaciones dado que se recibe del acumulador de cabezas y la respuesta con un lazo simple será satisfactoria.

Tabla 11.10: Instrumentos del lazo de temperatura 127.

Instrumento	Identificación
Transmisor de temperatura	TT 127
Indicador y controlador de temperatura	TIC 127
Válvula de temperatura	TV 127

Control en cascada de nivel en el acumulador de cabezas: Lazo 131

Controlar el nivel en el acumulador de cabezas V-203 es fundamental para asegurar una buena operación. Un nivel demasiado bajo podría comprometer el reflujo de la torre o la producción de gasolina y un nivel muy alto podría traducirse en retornos al condensador (con la consiguiente pérdida de eficacia que eso supondría).

La medición de nivel se llevará a cabo por presión diferencial. Esta técnica es muy habitual en industria y se basa en las lecturas de presión y gravedad específica para deducir el nivel en el recipiente.

El transmisor de nivel LT 131 enviará la señal al indicador y controlador de nivel LIC 131 que, actuando como controlador maestro, enviará el *set point* al controlador esclavo de flujo FC 131. Este controlador esclavo actuará sobre la válvula FV 131 regulando el flujo de producto de cabezas.

En configuración de *stand pipe* con el transmisor LT 131 se encuentra el visor LG 131, que permite al operador de planta comprobar visualmente que el nivel está dentro de los límites aceptables.

El ensuciamiento de las líneas de transmisión podría dar lugar a una situación poco deseable ya que el transmisor de nivel podría verse incapacitado y, por lo tanto, el controlador de nivel no actuaría correctamente sobre la válvula. En previsión de este escenario se ha decidido establecer en un árbol independiente un indicador de nivel LI 130 con sus correspondientes alarmas de alta y baja. Este indicador enviará el valor del nivel directamente al panel para que el operador de la sala de control tenga un fácil acceso.

Tabla 11.11: Instrumentos del lazo de nivel 131

Instrumento	Identificación
Transmisor de nivel	LT 131
Visor de nivel	LG 131
Indicador y controlador de nivel	LIC 131

Controlador de flujo	FC 131
Válvula de flujo	FV 131

Control en cascada de nivel en la columna: Lazo 135

El funcionamiento de este lazo es similar al del 131. La medición de nivel se hará a través de un mecanismo de presión diferencial, de igual manera que en el acumulador V-203. El transmisor de nivel LT 135 enviará la información al controlador e indicador de nivel LIC 135 para que éste actúe sobre la válvula LV 135 en función de la desviación respecto al punto de consigna. De esta manera, se aumentará o disminuirá el flujo de producto obtenido por colas para mantener el nivel de la columna dentro de los límites aceptables. Igual que en el caso del acumulador de cabezas V-203, se encuentra instalado el visor de nivel LG 135 accesible para el operador de planta y, en un árbol independiente, el indicador de nivel LI 134 con sus correspondientes alarmas.

Tabla 11.12: Instrumentos del lazo de nivel 135

Instrumento	Identificación
Transmisor de nivel	LT 135
Visor de nivel	LG 135
Indicador y controlador de nivel	LIC 135
Controlador de flujo	FC 135
Válvula de flujo	FV 135

11.5. Control del depósito Flash V-201

En este apartado se explicará brevemente cómo se controlan la temperatura, la presión y el nivel en el separador flash V-201.

Control de la presión: Lazo 112

El transmisor de presión PT 112 envía una señal eléctrica al indicador y controlador de presión PIC 112 que, tras comparar el valor recibido con el punto de consigna, envía una señal neumática a la válvula de presión PV 112 (previa conversión de señal en el PY 112).

Tabla 11.13: Instrumentos del lazo de presión 112

Instrumento	Identificación
Transmisor de presión	PT 112
Indicador y controlador de presión	PIC 112
Convertidor de señal neumática	PY 112
Válvula de presión	PV 112

Control de la temperatura: Lazo 107

El control de la temperatura se realiza mediante una combinación de mecanismos. El primero se basa en controlar la velocidad de las palas del aerorefrigerador E-103 a través del controlador de frecuencia SC-107, que ajusta la velocidad de las palas en función del valor recibido del indicador y controlador de temperatura TIC 107. Este sistema cuenta con el apoyo de controlador de flujo FC 107, que está configurado en cascada para ajustar el caudal de *bypass* de la carga al intercambiador E-101 estableciendo el *set point* con la información recibida del TIC 107. Cuanto más caudal se *bypass* menor será el intercambio de energía y mayor será la temperatura de entrada al V-201.

De esta manera se tendrá controlada la temperatura de la corriente de entrada al *flash,* se enfriará con el aerorefrigerador y se calentará cuando mayor sea el *bypass*.

Tabla 11.14: Instrumentos del lazo de temperatura 107

Instrumento	Identificación
Transmisor de temperatura	TT 107
Indicador y controlador de temperatura	TIC 107
Controlador de frecuencia	SC 107
Transmisor de flujo	FT 107
Controlador de flujo	FC 107
Válvula de flujo	FV 107

Control del nivel: Lazo 113

El nivel se controlará de igual manera que para el caso de la columna y los acumuladores del reflujo. El transmisor de nivel LT 113 enviará la señal medida al LIC 113, que ajustará la apertura de la válvula LV 113 vaciando más o menos líquido del depósito. Este sistema también está dotado del correspondiente visor de nivel LG 113 y de un árbol independiente con la señal a panel y alarmas de alta y baja, el LI 114.

Tabla 11.15: Instrumentos del lazo de nivel 113

Instrumento	Identificación
Transmisor de nivel	LT 113
Visor de nivel	LG 113
Indicador y controlador de nivel	LIC 113
Válvula de nivel	LV 113

11.6. Control del depósito V-101

En el depósito de reciclo V-101 será necesario controlar el nivel y la presión. Como ya se ha comentado durante la explicación del control del reactor, el nivel se controlará selectivamente a través del caudal de recirculación que se junte con la alimentación fresca. Se explicará el control de presión.

Control de presión: Lazos 110 y 111

El control de la presión en éste depósito se hará a través de un sistema pulmonado con fuel gas.

Lazo 110

En caso de que la presión en el interior del depósito supere el punto de consigna establecido, el transmisor de presión PT 110 enviará la señal al indicador y controlador de presión PIC 110 que, previa conversión de la señal eléctrica en neumática, actuará sobre la válvula de presión PV 110 liberando el contenido necesario a antorcha.

Tabla 11.16: Instrumentos del lazo de presión 110

Instrumento	Identificación
Transmisor de presión	PT 110
Indicador y controlador de presión	PIC 110
Convertidor de señal	PY 110

Válvula de presión	PV 110

Lazo 111

Funciona de forma inversa al lazo 110. Si la presión es demasiado baja, el transmisor de presión PT 111 envía una señal al controlador de presión PIC 111 y éste actúa sobre la válvula PV 111 regulando la inyección fuel gas al interior del depósito hasta que se alcance la presión deseada.

Tabla 11.17: Instrumentos del lazo de presión 111

Instrumento	Identificación
Transmisor de presión	PT 111
Indicador y controlador de presión	PIC 111
Convertidor de señal	PY 111
Válvula de presión	PV 111

11.7. Secuencia de enclavamiento No. 1 (S.E. No. 1)

Para poder evitar de forma segura es necesario contar con un sistema de seguridad totalmente independiente del sistema de control que sea capaz de provocar la parada de la unidad en caso de que se produzca una situación dada.

En este caso la parada de la unidad se lleva a cabo a través de la secuencia de enclavamiento número 1. Esta secuencia se ve activada cuando la señal enviada por el transmisor de temperatura TT 106 hace saltar el *switch* de muy alta temperatura TSHH 106. Este *switch* envía una señal de datos al PLC 101 y éste activa la secuencia de enclavamiento.

Por tanto, cuando se registra una temperatura muy elevada en la corriente de salida se pondrá en marcha la secuencia de enclavamiento y ésta ordenará cerrar la válvula de corte XV 144 y parar las bombas de alimentación P-101 A/B a través del conmutador XSP 140. Esto asegura que pare la alimentación al proceso por lo que, con todas las válvulas en posición de fallo, tendrá lugar una introducción de corriente totalmente parafínica en el reactor haciendo que disminuya la temperatura.

12. Seguridad en diseño y operación

El objetivo del presente apartado es el estudio de las principales consideraciones de seguridad en el diseño de la planta de oligomerización adaptadas al alcance establecido en la rúbrica.

Previamente a comenzar con el desarrollo del apartado, es necesario definir dos conceptos que tienen cierta tendencia a ser confundidos, como son el riesgo y el peligro.

- Peligro: característica intrínseca, física o química, que hace que una sustancia tenga capacidad de producir daño a las personas, instalaciones o medioambiente.
- Riesgo: medida cuantitativa de la consecuencia de un peligro y la frecuencia a la que puede ocurrir. ($Riesgo = Consecuencia \cdot Frecuencia$)

Mediante estas dos definiciones puede establecerse una clara diferencia: el peligro es potencialidad de daño mientras que el riesgo requiere cuantificación de este. Estos dos conceptos son básicos para la comprensión del campo de la seguridad, por eso se realiza cierto hincapié al inicio de este apartado.

El alcance de este estudio de seguridad de la unidad de oligomerización englobará la clasificación de la instalación en una categoría según rige la legislación, un estudio de reactividad

descontrolada perteneciente al área de identificación de peligros, se establecerán las distancias de seguridad entre equipos para el correcto desarrollo del plano de implantación y se dimensionarán las válvulas de alivio de las unidades de diseño: el Reactor R-101 y la fraccionadora T-201.

Por la extensión del proyecto, se realizará un índice DOW de fuego y explosión para el Reactor R-101 y la fraccionadora T-201, método semicuantitativo correspondiente a la fase de evaluación de riesgo. Nótese que se pretende dejar clara la diferencia entre identificación de peligros y evaluación de riesgos, en la línea de las definiciones comentadas al inicio.

12.1. Normativa aplicable

La legislación actual básica en el campo de seguridad de operación e instalación se encuentra regulada por la Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 4 de julio de 2012, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, mejor conocida como Seveso III, en honor al incidente ocurrido en la localidad italiana.

Su trasposición al ordenamiento jurídico español es el Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Para la clasificación de la planta de oligomerización según la Directiva Seveso III será necesario recabar información relativa a las sustancias químicas que intervienen en el proceso. Para llevar a cabo esta tarea de forma correcta los datos de las sustancias serán recogidos de las correspondientes fichas de seguridad incluidas en el Anexo VI. Fichas de seguridad, reguladas por el Reglamento (CE) n° 1907/2006 de Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas, de adelante denominado REACH, que entró en vigor el 1 de junio de 2007 y tiene como objetivo principal mejorar la protección para la salud humana y el medio ambiente frente al riesgo que puede conllevar la fabricación, comercialización y uso de las sustancias y mezclas químicas.

12.2. Inventario de sustancias

En el Anexo I del RD 840/2015 se presentan las categorías de peligro asociadas a determinadas indicaciones de peligro, también conocidas como Frases H (*Hazard*). Estas indicaciones de peligro de cada sustancia se encuentran en el apartado 2 de la ficha de seguridad correspondiente, y su clasificación y etiquetado está regulada por el Reglamento (CE) n° 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, de ahora en adelante denominado Reglamento CLP. No deben confundirse las categorías de peligro del RD 840/2015 con las frases H de cada sustancia clasificadas según el Reglamento CLP.

Las categorías de peligro se distinguen con las letras H, P, E y O, correspondientes a peligros para la salud, peligros físicos, peligros para el medioambiente y otros peligros, respectivamente. Determinadas frases H de las sustancias se clasifican en categorías de peligro y tienen asociadas cantidades umbrales inferior y superior, que permitirán la clasificación de la instalación según la Directiva Seveso III. Las sustancias enumeradas en el Anexo II del RD 840/2015 se categorizan directamente, prevaleciendo esta categorización ante la del Anexo I.

Para evaluar la peligrosidad inherente de las sustancias se realizará un inventario de sustancias con las frases H del reglamento CLP y la categorización del RD 840/2015, pero para esto antes es necesario recoger ciertas propiedades que son requeridas para realizar la categorización correctamente. En la Tabla 13.1 se muestran las sustancias del proceso con su temperatura de ebullición, punto flash, y además los límites inferior (LII) y superior de inflamabilidad (LSI) ya que son propiedades críticas en términos de seguridad.

Tabla 12.1 Puntos de ebullición, puntos flash y límites de inflamabilidad. Fuente: Anexo VI. Fichas de seguridad

	Punto de ebullición (°C) a 1 atm	**Punto flash (°C)**	**LSI (%v)**	**LII (%v)**
Propano	-42,1	-104	9,5	2,1
Isobutano	-12	-83	8,3	1,4
n-butano	-0,5	-60	8,4	1,8
n-Pentano	35	-49	8,3	1,4
1-buteno	-6,3	-80	9,3	1,6
isobuteno	-6,9	-80	9,6	1,8
cis-2-buteno	3,7	-11,99	9,7	1,7
trans-2-buteno	1	-11,99	9,7	1,6
2-metil-1-hepteno	117	10	ND	0,9
1-Dodeceno	214	73	4,7	0,4
1-Hexadeceno	274	132	ND	ND
1-Eicoseno	151 (a 1,5 mmHg)	>113	ND	ND
GLP	-32,5	-98	9,3	1,8

A continuación, en la Tabla 13.2 se muestra el inventario de sustancias con las indicaciones de peligro (frases H) establecidas por el reglamento CLP y su categoría de afectación de la transposición española de la Directiva Seveso III, según la Tabla de Correspondencias de la bibliografía [44]. Se incluye el pictograma de la etiqueta normalizado.

Tabla 12.2 Inventario de sustancias con clasificación CLP y Seveso III. Fuente: Elaboración propia a partir de [44]

	Pictograma	**Clasificación CLP (frases H y P)**	**Categoría Seveso III**
Propano		H220 H280 P210 P377 P403 P410	P2 (cat 1)
Isobutano		H220 H280 P210 P377 P403 P410	P2 (cat 1)
n-butano		H220 H280 P210 P377 P381 P403 P410	P2 (cat 1)
n-Pentano		H225 H304 H336 H411 P210 P273 P301 P310 P370 P378 P391	P5b (cat 2) E2
1-buteno		H220 H280 P210 P410 P403	P2 (cat 1)
isobuteno		H220 H280 P377 P381 P410 P403	P2 (cat 1)

cis-2-buteno		H220 H280 P210 P377 P381 P410 P403	P2 (cat 1)
trans-2-buteno		H220 H280 P210 P410 P403	P2 (cat 1)
GLP		H220 H280 P102 P210 P377 P280 P410 P403	Nominada, P2 (cat 1)
2-metil-1-hepteno		H225 H304 P301 P310 P331	P5b (cat 2)
1-Dodeceno		H304 P301 P310 P331 EUH066	No clasificado
1-Hexadeceno		No peligroso	
1-Eicoseno		No peligroso	

El Gas Licuado de Petróleo se incluye en el inventario de sustancias ya que después de la conversión del porcentaje establecido de olefinas, el producto obtenido es GLP que se almacena en esferas para su salida comercial. Los otros dos productos, gasolina y destilado medio (diésel) no se incluyen de forma directa en el inventario ya que para completar su especificación comercial deben someterse a posteriores etapas de *blending*.

Los peligros identificados con las frases H que se encuentran marcados en color representan los motivos de su clasificación como sustancia peligrosa. A continuación en la Tabla 13.3 se ofrece una breve explicación del significado de cada una de las frases que clasifican a la sustancia.

Tabla 12.3 Significado de peligros (frases H) de las sustancias del inventario. Fuente: Anexo VI. Fichas de seguridad

Peligros clasificados	**Significado**
H220	Gas extremadamente inflamable
H225	Líquido y vapores muy inflamables
H411	Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos
Peligros no clasificados	
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias
H336	Puede provocar somnolencia o vértigo

Como se puede observar, casi todas las sustancias tienen las mismas identificaciones de peligro, que corresponden sustancias inflamables derivadas del petróleo. Por este motivo en refinería debe extremarse la precaución ante la posible creación de fuentes de ignición que puede desencadenar un efecto dominó de reacciones que termine en catástrofe.

Los pictogramas presentados en la Tabla 13.2 son imágenes que se adosan a las etiquetas de los productos con el objetivo de transmitir información sobre el daño que una determinada sustancia puede provocar a la salud o al medio ambiente. Este tipo de pictogramas con borde rojo y fondo blanco se encuentran sometidos al nuevo sistema de clasificación y etiquetado de sustancias químicas peligrosas del reglamento CLP conforme al Sistema Globalmente Armonizado de las Naciones Unidas. El significado de cada pictograma se muestra en la Tabla 13.4.

Tabla 12.4 Significado de los pictogramas. Fuente: Reglamento CLP

Pictograma	Significado
	Gas a presión
	Inflamable
	Peligro grave para la salud
	Peligro para la salud
	Peligro para el medio ambiente

Según el RD 840/2015, el apartado 6 del artículo 3 define un establecimiento de nivel superior como “un establecimiento en el que haya presentes sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a las especificadas en la columna 3 de la parte 1 o de la parte 2 del Anexo I”, que se refieren a las cantidades umbrales superiores para cada sustancia.

Por otro lado, a la hora de establecer las cantidades presentes de cada sustancia en la instalación, el Real Decreto establece en la Nota 3 del Anexo I: “Las cantidades que hay que tener en cuenta para la aplicación de los artículos pertinentes son las máximas que estén presentes, o puedan estarlo, en un momento dado”. En la Nota 4, se introduce la regla de la suma para establecer la clasificación de la instalación en caso de ser necesario, que será comentada posteriormente.

Para el cálculo de las cantidades máximas que pueden estar presentes en la instalación, se considerará un plazo de 3 días de almacenaje. En la Tabla 13.5 se muestra la clasificación de las sustancias según Seveso III con las cantidades correspondientes al plazo establecido y las cantidades umbral asociadas a su categoría.

Tabla 12.5 Tabla de peligros de las sustancias con cantidades umbral de Seveso III. Fuente: Elaboración propia

	Categoría SEVESO III	Cantidad (t)	Cantidad umbral		H	P	E	O
			Inferior (Col 2)	Superior (Col 3)				
Propano	P2 (cat 1)	1,30	10	50		X		
Isobutano	P2 (cat 1)	292,9	10	50		X		
n-butano	P2 (cat 1)	195,9	10	50		X		
n-Pentano	P5b (cat 2) E2	24,4	50 200	200 500		X	X	
1-buteno	P2 (cat 1)	39,1	10	50		X		
isobuteno	P2 (cat 1)	30,51	10	50		X		
cis-2-buteno	P2 (cat 1)	128,3	10	50		X		
trans-2-buteno	P2 (cat 1)	281,3	10	50		X		
GLP	Nominada, P2 (cat 1)	583,5	50	200		X		
2-metil-1-hepteno	P5b (cat 2)	227,8	50	200		X		
1-Dodeceno	No clasificado	83,0	-	-				
1-Hexadeceno	No peligroso	51,7	-	-				
1-Eicoseno	No peligroso	23,1	-	-				

12.3. Clasificación de la instalación

Como se puede observar, varias de las sustancias superan con holgura la cantidad umbral superior (isobutano, n-butano, cis y trans-2-buteno, GLP y 2-metil-1-hepteno), por lo que según establece la normativa, la actividad realizada en la unidad de oligomerización perteneciente al C.I. de A Coruña se clasifica según Seveso III como un **ESTABLECIMIENTO DE NIVEL SUPERIOR**.

En caso de que ninguna cantidad de sustancia peligrosa superase la cantidad umbral superior establecida, se procedería a la clasificación utilizando la regla de la suma, que dicta que la suma de las cantidades de cada sustancia divididas por su cantidad umbral superior fuese igual o mayor que 1, el establecimiento se clasificaría de nivel superior [45]. En este caso no es necesario aplicarla ya que claramente las cantidades umbrales se sobrepasan notablemente.

La clasificación como nivel superior obliga a los industriales del establecimiento a elaborar un informe de seguridad que defina la política de prevención de accidentes graves del establecimiento.

12.4. Identificación de peligros

12.4.1 Estudio de reactividad descontrolada

Los peligros asociados con la reactividad descontrolada (*runaway reactions*) no identificados adecuadamente han sido causa de accidentes industriales catastróficos como los casos de Bhopal (India), en el que se produjo una fuga de una gran cantidad de isocianato de metilo (MIC) a la atmósfera por una reacción descontrolada con agua, o en el condado de Jacksonville (Florida) en diciembre de 2007, donde se produjo una explosión en el reactor por un episodio de reacciones descontroladas que causaron un incremento imparable de temperatura. Estos son

dos de los accidentes más famosos que se toman de ejemplo en muchos libros sobre seguridad industrial. Es importante aclarar que en ambos casos los escenarios de reacción descontrolada no pudieron ser mitigados por los sistemas de control pertinentes: en el caso de Bhopal el *scrubber* y el sistema de antorcha no estaban operativos en el momento de la fuga, y en el caso de Jacksonville el sistema de refrigeración falló. Por este motivo, los escenarios *runaway* son los casos más peligrosos y catastróficos que se pueden producir en plantas químicas, y deben ser objeto de estudio en la implantación de todo proceso químico [46].

Haciendo hincapié a lo comentado acerca de los accidentes de Bhopal y Jacksonville, la reactividad descontrolada depende tanto de las propiedades intrínsecas de peligrosidad de la sustancia como de las condiciones del procesado, almacenamiento o diseño de equipos, y en estos últimos tres aspectos recae la dificultad para identificar y caracterizar los peligros asociados.

Los escenarios *runaway* pueden originarse por la pérdida del control de una reacción deseada o por la aparición de una reacción no deseada. Estas reacciones en descontrol suelen ser violentas y pueden dar lugar a la liberación de gran cantidad de energía, sustancias tóxicas, aumento de presión, ebullición incontrolada, calentamiento brusco, etc. Es evidente que las reacciones fuertemente exotérmicas generan un riesgo alto ante estos escenarios, pero no por ello debe despreciarse la peligrosidad de las demás reacciones. Una reacción débilmente exotérmica, ante un episodio de acumulación de reactantes puede llegar a inestabilizar el proceso al entrar en un ciclo acumulación-calentamiento-reacción descontrolada [46].

En este apartado se realizará un estudio de reactividad utilizando el software *Chemical Reactivity Worksheet 4.0* (CRW4) desarrollado por CCPS (*Center for Chemical Process Safety*) para elaborar una matriz de incompatibilidades químicas de forma que se muestren de forma más visual los peligros existentes entre las sustancias manejadas en el proceso.

12.4.2 Clasificación NFPA

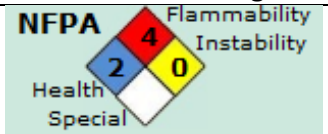
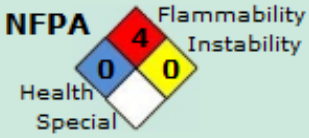
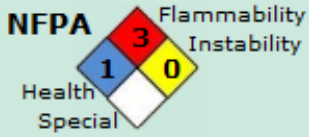
Previamente se realizará una clasificación NFPA (*National Fire Protection Association*) según la norma NFPA 704 [47], con su correspondiente ”diamante de fuego”, que es un diagrama de identificación de materiales peligrosos para respuestas de emergencia. La estructura del diagrama es un rombo con cuatro subdivisiones de diferentes colores, en los que se indican los grados de peligrosidad en una escala del 0 al 4 para la salud, inflamabilidad, inestabilidad y peligros especiales. En la Figura 15.1 se muestra el esquema del diagrama con los grados de riesgo.



Figura 12.1 Diamante de peligro norma NFPA 704. Fuente: [47]

En la Tabla 13.6 se muestran las sustancias del proceso con su correspondiente diamante de fuego de la norma NFPA 704.

Tabla 12.6 Clasificación NFPA de las sustancias de inventario según norma NFPA 704. Fuente: CRW4

Sustancia	Diamante de fuego	Alertas de reactividad
Propano		Extremadamente inflamable
n-Butano		Extremadamente inflamable
Isobutano		Extremadamente inflamable
n-Pentano		Extremadamente inflamable
1-Buteno		Extremadamente inflamable
Isobuteno		Extremadamente inflamable Polimerizable
Cis-2-Buteno		Extremadamente inflamable
Trans-2-Buteno		Extremadamente inflamable
2-Metil-1-Hepteno		Extremadamente inflamable
GLP		Extremadamente inflamable
1-Dodeceno		No peligroso
1-Hexadeceno		No peligroso
1-Eicoseno		No peligroso

12.4.1 Matriz de incompatibilidades

En la Tabla 13.7 se elabora la matriz de incompatibilidades químicas con el propósito de realizar su manejo en la unidad de oligomerización de acuerdo a unas condiciones seguras. La matriz se realiza con el objetivo de detectar posibles escenarios peligrosos en caso de que todas las sustancias se pusiesen en contacto conjuntamente. Es decir, la función de esta matriz tiene aplicación en escenarios accidentales alejados de las condiciones normales de operación.

Tabla 12.7 Matriz de incompatibilidades químicas. Fuente: adaptado de CRW4

Salud	Inflamabilidad	Inestabilidad	Especial	Y=compatible C=Precaución N=No compatible SR=Autorreactivo	Propano	n-butano	Isobutano	n-Pentano	1-buteno	isobuteno	cis-2-buteno	trans-2-buteno	2-metil-1-hepteno	1-Dodeceno	1-Hexadeceno	1-Eicoseno	GLP
2	4	0		Propano													
1	4	0		n-butano	Y												
0	4	0		Isobutano	Y	Y											
1	4	0		n-Pentano	Y	Y	Y										
1	4	0		1-buteno	Y	Y	Y	Y									
2	4	1		Isobuteno	C	C	C	C	C	SR							
1	4	0		cis-2-buteno	Y	Y	Y	Y	Y	C							
1	4	0		trans-2-buteno	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y						
1	3	0		2-metil-1-hepteno	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y					
				1-Dodeceno	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y	Y				
				1-Hexadeceno	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y	Y	Y			
				1-Eicoseno	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y	Y	Y	Y		
1	4	0		GLP	Y	Y	Y	Y	Y	C	Y	Y	Y	Y	Y	Y	

La matriz de incompatibilidades químicas muestra que los compuestos del proceso son prácticamente todos compatibles entre ellos. Esto se debe a que se básicamente se trata de sustancias compuestas por carbono e hidrógeno pertenecientes a la familia de hidrocarburos alifáticos. En su manejo se debe extremar la precaución al manejar temperaturas altas y focos de calor por su carácter inflamable, pero no existen reacciones químicas peligrosas entre ellos.

Entre las sustancias del inventario, se observa que el isobuteno es una sustancia autorreactiva. Esto ocurre generalmente para especies insaturadas, que son propensas a la generación de radicales y podrían ser capaces de iniciar un episodio de polimerización descontrolada, por la inestabilidad del doble enlace.

El perfil de reactividad del isobuteno muestra que la reacción de polimerización puede ser catalizada por diferentes materiales como los haluros de alquilo, halógenos, ácido sulfúrico concentrado, cloruro de aluminio, monóxido de carbono o hidrógeno sobre un catalizador de cobalto. En el proceso de oligomerización no se manejan estas sustancias. Sin embargo, debe asegurarse que no se introducen compuestos halogenados en la corriente de Raffinate, en concreto evitar compuestos clorados, ya que en el interior del reactor podrían reaccionar con el catalizador de sílica-alúmina generando cloruro de aluminio e iniciar un escenario *runaway*.

12.5. Evaluación del riesgo

12.5.1 Índice DOW de fuego y explosión

El Índice Dow de Fuego y Explosión es un método semicuantitativo de evaluación del riesgo potencial de un proceso basándose en índices de peligrosidad de las sustancias y las condiciones en las que se manejan. Fue desarrollado por la empresa Dow Chemical Company y el American Institute of Chemical Engineering (AiChe) y actualmente en el contexto de instalaciones industriales es uno de los de mayor interés [48].

Los cálculos de los diferentes factores que afectan al Índice de Fuego y Explosión aparecerán detallados en el Anexo IV de la memoria del proyecto. En este apartado únicamente se presentarán los resultados obtenidos.

En la Tabla 13.8 se resumen los valores calculados en el desarrollo de este análisis de riesgo.

Tabla 12.8 Resultados del análisis de riesgo Índice DOW de Fuego y Explosión.

	Reactor R-101	**Fraccionadora T-201**
Factor de Riesgo de la Unidad (F_3)	10,93	6,39
Factor Material (FM)	[redacted]	[redacted]
Factor de Daño (FD)	0,84	0,54
Índice de Fuego y Explosión (IFE)	229,5	102,3
Radio de exposición (m)	50	25
Área afectada (m^2)	7854	1963

Los resultados se traducen de la siguiente forma:

- Las condiciones en el Reactor R-101 presentan un 84% de probabilidad de daño a 7854 m^2 de área alrededor.
- Las condiciones en la Fraccionadora T-201 presentan una probabilidad de daño del 54% a 1963 m^2 de área alrededor.

Los resultados obtenidos alcanzan valores muy altos de afectación debido a que se manejan cantidades considerables de sustancias extremadamente inflamables en ambos equipos, sometidas a condiciones de presión y temperatura severas.

Es evidente que un incidente de incendio o explosión no tiene una difusión perfectamente circular ni produce un equivalente daño en todas las direcciones. Esto depende de la posición del equipo, dirección del viento y ubicación del drenaje. Sin embargo se presenta el cálculo del área afectada como valor indicativo del alcance que podría acarrear el incidente.

12.6. Distancias de seguridad

Este apartado tiene el objetivo de establecer las distancias mínimas de seguridad entre los equipos de la Unidad de Oligomerización. En este caso, al contemplarse la opción de reutilizar equipos ya existentes en la Refinería, es complicado proponer nuevas distancias para los equipos que ya se encuentran en [redacted], por lo que comentarán las distancias de los equipos que se proponen a compra nuevos, acorde al Anexo VI. Propuesta de reutilización de equipos de [redacted].

El objetivo de un *layout* de planta adecuado es distanciar los equipos más peligrosos entre sí de forma que en caso de producirse un incendio, la propagación de la llama no alcanzase los equipos críticos. En la Tabla 14.1 se muestran los valores de distancias recomendadas entre los equipos presentes en el proceso de oligomerización. Las distancias han sido adaptadas de las recomendadas por la guía de Global Asset Protection Services LLC, organismo internacional de referencia en materia de prevención de riesgos.

Tabla 12.9 Distancias mínimas recomendables entre equipos. Fuente: adaptado de GAPS LLC

Distancias (m)	Bombas	Reactor (HH)	Columnas y recipientes	Aeros	Intercambiadores	*Rack* de tuberías
Bombas (MH)	1,98					
Reactor (HH)	3,95	7,63				
Columnas y recipientes	3,95	15,25	4,56			
Aeros	5,925	7,63	4,56	/		
Intercambiadores	3,95	7,63	3,05	4,58	1,53	
Rack de tuberías	3,95	7,63	3,05	/	3,05	/

MH: Peligro intermedio (*Medium Hazard)* HH: Peligro alto (*High Hazard*)

Los equipos propuestos a compra son el Reactor R-101, la torre Fraccionadora T-202 y el acumulador V-203 de la fraccionadora. Para contemplar la zona propuesta para implantar los equipos, véase el Plano de Implantación del Documento II.

El Reactor R-101 es el equipo más peligroso, por lo que las distancias recomendadas son mayores. En el Plano de implantación propuesto de la Unidad de [redacted], el reactor se sitúa a una distancia alejada del resto de equipamientos. Respecto a la torre fraccionadora, se propone una situación paralela a la estabilizadora, a una distancia de 6 m. La zona propuesta se encuentra situada cerca de los intercambiadores de calor que se utilizan como *reboilers* en ambas torres, aproximadamente entre 2,5 y 3 m del más cercano. Para el acumulador V-202 se propone el mismo procedimiento, situado de forma paralela y a la misma distancia que el acumulador de la estabilizadora.

13. Bibliografía

La referenciación bibliográfica de la Memoria seguirá la norma ISO 690:2010. La información confidencial, así como las imágenes proporcionadas por la empresa REPSOL no se referenciará y sólo se encontrará visible ante las personas autorizadas. En la versión digital pública los datos confidenciales serán eliminados.

1. GOOGLE MAPS. [sitio web]. [Consultado 25 mayo 2019] Disponible en: https://maps.google.com/

2. AYUNTAMIENTO DE A CORUÑA. [sitio web] A Coruña [Consultado 25 mayo 2019] Disponible en: http://www.coruna.gal/portal/es?argIdioma=es

3. REPSOL Complejo Industrial A Coruña. [sitio web] A Coruña [Consultado 15 mayo 2019] Disponible en: https://acoruna.repsol.es/es/index.cshtml

4. SEDE ELECTRÓNICA DEL CATASTRO. [sitio web]. España. [Consultado 15 mayo 2019]. Disponible en: https://www.sedecatastro.gob.es/

5. BOLÍVAR, G. *Buteno: características, estructura química y usos*. [sitio web] [Consultado 15 mayo 2019]. Disponible en: https://www.lifeder.com/buteno/

6. LLUCH URPÍ, J. *Tecnología y margen de refino del petróleo*. España: Ediciones Díaz de Santos, 2008. ISBN: 978-84-7978-875-9

7. AIRILINE 92. *El combustible de aviación AVGAS y Jet*. [sitio web] [Consultado 21 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.airline92.com/

8. REPSOL*. Composición Jet-A1.* [En línea] España. [consultado el 21 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Composicion_JET_A1_tcm13-19729.pdf

9. BBC. [sitio web]. NEWS Mundo [Consultado 15 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.bbc.com/

10. FUELS EUROPE. *Fuels Europe Statistical Report 2018.* [En línea]. Bélgica, 2018. [Consultado 15 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.fuelseurope.eu/newsroom/publications/

11. ENERGY INTERNATIONAL AGENCY [sitio web]. Key World Energy Statistics. [Consultado 15 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.iea.org/

12. BRITISH PETROLEUM*. B.P. Statistical Review of World Energy 2018.* [En línea]. Reino Unido, 2018. [Consultado 15 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf

13. ECONOMIC TIME SERIES PAGE [sitio web]. Daily Spot Prices for Crude Oil and Petroleum Products. [Consultado 16 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.economagic.com

14. BLOG SELF BANk. [Sitio web]. Brent vs Texas: Diferencias entre los dos principales barriles de petróleo. [Consultado 16 de marzo de 2019]. Disponible en: https://blog.selfbank.es

15. Organization of the Petroleum Exporting Countries [sitio web]. Our mission. [Consultado 16 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.opec.org/

16. Statista, el portal de estadísticas [sitio web]. Evolución anual del precio medio del petróleo crudo fijado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) de 1960 a 2018 (en dólares por barril). [Consultado 16 de marzo de 2019]. Disponible en: https://es.statista.com/

17. *Evolución del mercado del petróleo en el corto plazo.* [En línea]. España: Enerclub. [consultado 17 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.enerclub.es/

18. EUROPEAN COMMISSION [sitio web]. Eurostat Database. [consultado el 22 de marzo de 2019]. Disponible en: https://ec.europa.eu/

19. EUROPEAN COMMISSION [sitio web]. Weekly Oil Bulletin. [consultado en 23 de marzo de 2019]. Disponible en: https://ec.europa.eu/

20. US Energy Information Administration [sitio web]. Petroleum Data. [Consultado 21 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.eia.gov/

21. BRITISH PETROLEUM *BP sustainability report 2017.* [En línea]. Reino Unido. [Consultado 22 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/sustainability/group-reports/bp-sustainability-report-2017.pdf

22. *BP Energy Outlook: 2019 Edition.* [En línea]. Reino Unido, British Pretroleum. [Consultado 22 de marzo de 2019] Disponible en: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf

23. INTERNATIONAL MARITIME ORGANISATION. [Sitio web] Azufre 2020: reduciendo las emisiones de óxidos de azufre. [Consultado 22 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.imo.org

24. DALLA COSTA, B. O. *Alquilación de isobutano con olefinas: Estudio de catalizadores sólidos ácidos"*. Tesis. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, 2011. [Consulta: 24/03/2019]. Disponible en línea a través de: http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/248/tesis.pdf?sequence=1

25. FAHIM M. A., ALSAHHAF T. A., ELKILANI A. *Fundamentals of Petroleum Refining* [en línea]. 1ª edición. Amsterdam: Elsevier, 2010. [Consulta: 24/03/2019]. ISBN: 978-0-444-52785-1. Disponible en: http://dspace.bhos.edu.az/jspui/bitstream/123456789/1759/1/Fundamentals%20of%20Petroleum%20Refining.pdf

26. JECHURA, JOHN. *Gasoline Upgrading: Reforming, Isomerization & Alkylation*. *Chapters 10 & 11* [en línea], Colorado School of Mines. 2017 (actualizado Julio 2018). [Consulta: 25/03/2019]. Disponible en: https://inside.mines.edu/~jjechura/Refining/09_Gasoline_Upgrading.pdf

27. NORTON ENGINEERING. *Alkylation Technology Study*. *Final Report* [en línea]. 2016. [Consulta: 25/03/2019]. Disponible en: http://www.aqmd.gov/docs/default-source/permitting/alkylation-technology-study-final-report.pdf

28. HONEYWELL UOP, [Web en línea]. [Consulta: 25/03/2019]. Disponible en: https://www.uop.com/processing-solutions/refining/gasoline/alkylation/

29. MEYERS, ROBERT A. *Handbook of Petroleum Refining Processes* [en línea]. 4ª edición. McGraw-Hill Education, Mayo 2016. [Consulta: 25/03/2019]. ISBN: 978-0071850490 Disponible en:https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/handbook-of-petroleum-refining-processes-fourth-edition

30. BRANZARU, JEANNIE. *Introduction to Sulfuric Acid Alkylation Unit Process Design*, [en línea]. STRATCO Inc., Leawood, Kansas, Noviembre 2001. [Consulta: 25/03/2019] Disponible en: http://www2.dupont.com/Clean_Technologies/en_US/assets/downloads/AlkyUnitDesign2001.pdf

31. PRESLEY, SHANE .*STRATCO Sulfuric Acid Alkylation Technology and ConvEx HF Alkylation Conversion Technology* [en línea]. DuPont Clean Technologies, SCAQMD Working Group Meetin #5, Agosto 2017. [Consulta: 25/03/2019]. Disponible en: http://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/Proposed-Rules/1410/dupontprez082317.pdf?sfvrsn=11

32. MCDERMOTT, *CDAlky Alkylation Technology* [en línea]. McDermott, Mayo 2018. [Consulta: 25/03/2019]. Disponible en: https://www.mcdermott.com/What-We-Do/Technology/Lummus/Refining/Clean-Fuels/Gasoline-Alkylate-Production/CDAlky

33. MCDERMOTT. *AlkyClean Solid Catalyst Alkylation technology* [en línea] 2018. [Consulta: 26/03/2019]. Disponible en: https://www.mcdermott.com/What-We-Do/Technology/Lummus/Refining/Clean-Fuels/Gasoline-Alkylate-Production/AlkyClean

34. CHEVRON USA INC *IsoAlky Technology: Next generation alkylate gasolina manofacturing process technology* [en línea]., 2017. [Consulta: 25/03/2019]. Disponible en: http://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/Proposed-Rules/1410/chevron-presentation.pdf

35. DE KLERK A., DE VAAL P. L., *Alkylate Technology Section for Fischer-Tropsch Syncrude Refining* [en línea] Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Pretoria, Sudáfrica, 2008, Vol 47, No 6870-6877. [Fecha de consulta: 26/03/2019] Disponible en: https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie800288n

36. A. K. KOLAH, Q. ZHIWEN, S. M. MAHAJANI. *Dimerized isobutene: An alternative to MTBE* [en línea]. Chemical Innovation, 31, Part 3, 15-21, American Chemical Society, Washington DC, 2001. [Consulta: 25/03/2019]. Disponible en: http://pubs.acs.org/subscribe/archive/ci/31/i03/html/03mahajani.html

37. NESTE. *NexOctane: Isobutylene to Premium Octanne Value Component* [en línea]. Nex Process Technologies. [Consulta: 26/03/2019]. Disponible en:

https://www.neste.com/corporate-info/who-we-are/neste-engineering-solutions/solutions/process-technologies

38. GONZÁLEZ FLORES, LEYRE. *Obtención sostenible de combustibles por oligomerización de olefinas ligeras* [en línea]. Trabajo Fin de Grado, Universidad del País Vasco, País Vasco, 2015. [Consulta: 24/03/2019]
Disponible en: https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18074/TFG-LeireGonzalezFlores.pdf?sequence=2

39. *UOP Indirect Alkylation Process* [en línea]. Process Engineering, 2019. [Consulta: 26/03/2019]. Disponible en:
http://www.processengineer.info/refining/uop-indirect-alkylation-process.html

40. ORBENZUA FERNÁNDEZ, GAIZKA. *Producción de combustibles por oligomerización catalítica a presión atmosférica de olefinas de bajo interés* [en línea]. Trabajo de Fin de Grado, Universidad del País Vasco, País Vasco, 2017. [Consulta: 25/03/2019]. Disponible en:
https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/26451/TFG_ORBEZUA_FERNANDEZ_GAIZKA.pdf?sequence=1

41. STEPHANOPOULOS, G. *Chemical process control: an introduction to theory and practice.* New Jersey: Prentice-Hall, cop. 1984. ISBN: 0-13-128629-3

42. SINNOTT, R.K y TOWLER, G.P. *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design.* Butterworth-Heinemann, 2013. ISBN 978-0-7506-8423-1

43. NORMA ANSI/ISA-5.1-2009 *de Identificación y Simbología de Instrumentación.*

44. VILCHEZ SANCHEZ, J.A. et al. Propuesta de Tabla de correspondencias entre las categoriás de sustancias peligrosas Seveso II y Seveso III. *Industria Química*. 2015. Disponible en: https://www.industriaquimica.es/articulos/20151207/propuesta-Tabla-correspondenciascategorias-sustancias-peligrosas-seveso-seveso#.WVwe7hixhmA

45. VILCHEZ SANCHES, J.A. et al. Seveso III y la Notificación de accidentes graves. Pautas para la aplicación de la regla de la suma. *Industria Química*. 2006. Disponible en:
https://www.industriaquimica.es/articulos/20160711/seveso-notificacion-accidentes-graves#.WVwb-RixhmA

46. CROWL y LOUVAR. *Chemical Process Safety. Fundamentals with* applitacions. Ed. Pearson, 2011. ISBN: 978-0-13-278283-8

47. NFPA 704: *Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response. NFPA. 31 Aug. 2014.* Disponible en: http://www.nfpa.org/codes-and-standards/document-information-pages?mode=code&code=704

48. The American Institute of Chemical Engineers. *DOW's Fire & Explosion INdex Hazard Classification Guide*. 7ª Edición. AIChe technical manual. New York, 1994. [en línea] [Fecha de consulta: 19/06/2019]. Disponible en:
https://www.aiche.org/publications/books/dows-fire-explosion-index-hazard-classification-guide-7th-edition

ANEXO I

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Índice

1. Objeto 2
2. Propiedades de los compuestos 2
3. Balances de materia 3
   3.1. Introducción 3
   3.2. Bases de cálculo 3
   3.3. Reacciones 4
   3.4. Balance de materia global 5
   3.5. Balances de materia individuales 6
      3.5.1. Reactor R-101 7
      3.5.2. Separador Flash V-201 7
      3.5.3. Estabilizadora T-201 9
      3.5.4. Fraccionadora T-202 10
      Reciclo 12
4. Balance de energía 13
   4.1. Introducción 13
   4.2. Calores específicos de los componentes de las mezclas 13
      4.2.1. Planteamiento del problema 13
      4.2.2. Solución adoptada 15
      4.2.3. Calores específicos de los componentes de las mezclas 15
      4.2.4. Conclusiones para los calores específicos 17
   4.3. Reactor R-101 17
   4.4. Fraccionadora T-202 19
   4.5. Estabilizadora T-201 22

1. Objeto

El objetivo de este Anexo es presentar el balance de materia global del proceso y el balance de materia en cada equipo, además del balance de energía en cada unidad a diseño, con los requerimientos energéticos asociados en los equipos.

2. Propiedades de los compuestos

En este apartado se presentan las propiedades de los compuestos involucrados en todo el proceso de oligomerización. Se dividirán en reactivos, con todos los presentes en la alimentación fresca, y productos de las reacciones de oligomerización.

Las propiedades de los reactivos y productos se muestran en las Tablas 2.1 y 2.2 para unas condiciones normales de 25°C y 1 atm.

Tabla 2.1 Propiedades de los compuestos presentes en la alimentación (25ºC y 1 atm). Fuente: Aspen Hysys

Compuesto	Fórmula	Estado	Pm	Punto ebullición (°C)	Temperatura crítica (°C)	Presión crítica (bar)	$\Delta H°_f$ (kJ/mol)	Cp (J/mol K)
Propano	C_3H_8	Gas	44,10	-42,19	96,75	42,57	-103900	75,40
Isobutano	C_4H_{10}	Gas	58,12	-11,65	134,9	36,48	-134600	98,28
n-Butano	C_4H_{10}	Gas	58,12	-0,3847	152	37,97	-126200	98,88
Isobuteno	C_4H_8	Gas	56,11	-7,356	144,7	40,02	-16910	91,03
1-Buteno	C_4H_8	Gas	56,11	-6,657	146,5	40,23	-126	86,64
cis-2-Buteno	C_4H_8	Gas	56,11	3,70	162,4	42,06	-6990	80,30
tr-2-Buteno	C_4H_8	Gas	56,11	1,215	155,5	41,02	-11180	89,19
n-Pentano	C_5H_{12}	Líquido	72,15	36,24	196,5	33,75	-146500	163,7

Tabla 2.2. Propiedades de los productos de reacciones de oligomerización. Fuente: Aspen Hysys

Compuesto	Fórmula	Estado	Peso molecular	Punto ebullición (°C)	Temperatura crítica (°C)	Presión crítica (bar)	ΔHºf (kJ/mol)	Cp (J/mol K)
2-Metil-1-Hepteno	C_8H_{16}	Líquido	112,2	119,3	300	27,15	-92810	229,7
1-Dodeceno	$C_{12}H_{24}$	Líquido	168,3	215,4	383,9	18,5	-165500	346,3
1-Hexadeceno	$C_{16}H_{32}$	Líquido	224,4	287	443,9	13,30	-248000	458,3
1-Eicoseno	$C_{20}H_{40}$	Líquido	280,5	346,6	494,6	10,43	-330200	568,1

3. Balances de materia

3.1. Introducción

Todo sistema o proceso está gobernado por la Ley de la Conservación de la masa. De manera genérica, el balance de materia se expresa según la Ecuación 1.1.

$$Entrada - Salida + Generación = Acumulación \quad [1.1]$$

El término Entrada se refiere a toda la materia que se introduce en el sistema. El término Salida, evidentemente, se refiere a toda la materia que sale de él. El término Generación aparece en los casos en los que el sistema es reactivo. Por último, en caso de sistemas discontinuos, el término Acumulación se corresponde a toda la materia que se acumula dentro de los límites del sistema.

El proceso de oligomerización se trata de un proceso continuo en estado estacionario en el que tienen lugar reacciones químicas, por lo que en la Ecuación 1 el término de acumulación se elimina. De esta manera, para la resolución de los balances de materia global e individuales, se utilizará la Ecuación 1.2.

$$Entrada + Generación = Salida \quad [1.2]$$

3.2. Bases de cálculo

Para el desarrollo de los balances de materia, son necesarias unas bases de cálculo que permitan definir las corrientes de entrada y salida, en lo referido a caudal y composición.

En este proceso se han tomado las siguientes bases de cálculo:

- Capacidad de la planta

La capacidad de la planta de Oligomerización vendrá determinado por las unidades *upstream* del C.I. de A Coruña. En este proceso, el caudal de entrada en la unidad de Oligomerización es de **13,8 t/h**. Viene determinado por el caudal efluente de la unidad de [redacted] en la refinería que se denomina *Raffinate* [redacted]. Se trata de un caudal existente en la refinería por lo que es una base de cálculo fija, que podría presentar pequeñas variaciones en la composición dependiendo del tipo de condiciones de alimentación *upstream*, pero para el proceso que concierne se tomarán las mostradas en la Tabla 3.1, que han sido proporcionadas por Repsol.

Tabla 3.1 Composición alimentación Raffinate [redacted]. Fuente: Repsol

Parafinas/Olefinas	LPG Olefínico	Composición (%molar)
Parafinas	Propano	[redacted]
	Isobutano	
	n-Butano	
	n-Pentano	
Olefinas	1-Buteno	
	Isobuteno	
	Cis-2-Buteno	
	Trans-2-Buteno	

- Reciclo

La especificación de la corriente de reciclo se trata de un parámetro clave en el proceso por diferentes motivos:

1) En primer lugar, permite a las moléculas olefínicas no convertidas en un primer paso tener una segunda oportunidad de reacción al volver a pasar a través del reactor, aumentando la conversión global de butano olefínico en la Unidad.
2) La corriente de reciclo tiene un contenido mucho menos olefínico que la carga fresca, con gran contenido en parafinas. Las parafinas, que son inertes, actúan de sumidero de parte del calor de reacción generado. Este *quench* de inertes permite controlar el delta T en el reactor y limitar la temperatura máxima en el lecho catalítico.
3) Al aumentar el caudal de entrada al reactor, a su vez se garantiza una operación por encima del caudal de *turndown* del reactor, consiguiendo una buena distribución de producto en el lecho catalítico.

En el proceso de oligomerización, la sección de reacción se encuentra alimentada por una mezcla de butano olefínico y butano parafínico de reciclo. Teóricamente la alimentación fresca es [redacted] olefínica y reciclo [redacted] olefinas. Con estas consideraciones, un caudal másico de reciclo el doble que de alimentación fresca permitiría obtener una relación olefinas:parafinas a la entrada al reactor de [redacted] (en peso). Sin embargo, estas consideraciones no se ajustan a lo que ocurre realmente, ya que la corriente de reciclo sí presenta cierto contenido olefínico. Estos datos se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Comparación entre relación olefinas:parafinas en caso teórico vs práctico

	Teórico		**Real**	
	Alimentación fresca	Reciclo	Alimentación fresca	Reciclo
Olefinas	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Parafinas	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

Para alcanzar esta concentración [redacted] olefinas:parafinas en peso a la entrada del reactor, es necesario definir la corriente de reciclo, ya que la alimentación fresca ya se encuentra predefinida por provenir de una unidad *upstream*. La composición del reciclo viene definida a partir de las condiciones de entrada en el equipo de separación flash posterior al reactor, por lo que el único factor variable es la relación másica entra alimentación y reciclo.

A través de un procedimiento de cálculo iterativo, se ha determinado que **la relación másica entre la carga fresca y el reciclo debe ser de [redacted] (carga fresca:reciclo) en peso** para alcanzar dicha concentración en olefinas y parafinas a la entrada del reactor.

Es importante mencionar que el parámetro clave que limita la corriente de reciclo es el delta T obtenido en el reactor, de forma que se mantenga la fase líquida en todo momento. De esta manera, cuanto mayor sea el caudal de reciclo, mayor calor será absorbido por las parafinas, y en consecuencia menor delta T en el reactor. Este parámetro será comentado posteriormente en el balance de energía en el reactor.

3.3. Reacciones

Información no disponible en la versión pública.

3.4. Balance de materia global

El balance de materia global recoge los caudales de las corrientes de entrada y salida. En la Figura 3.1 se muestra un diagrama de bloques del proceso de oligomerización con los caudales másicos de cada corriente de entrada y salida, de forma que se ofrezca una forma más visual del proceso.

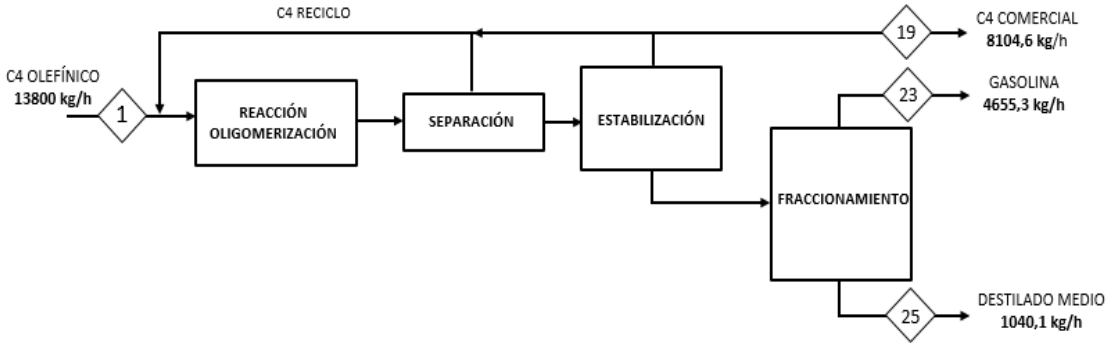


Figura 3.1 Diagrama de bloques del proceso de oligomerización con caudales de entrada y salida. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.4 se muestran los caudales másicos por componente en las corrientes de entrada (1), y las tres corrientes de producto (19, 23 y 25).

Tabla 3.3 Balance de materia global del proceso. Elaboración propia

Corriente	Entradas (kg/h)	Salidas (kg/h)		
	Carga fresca	LPG	Gasolina	Destilado medio
	1	19	23	25
Propano				
Isobutano				
n-butano				
n-Pentano				
1-buteno				
isobuteno				
cis-2-buteno				
trans-2-buteno				
2M-1-hepteno				
1-Dodeceno				
1-Hexadeceno				
1-Eicoseno				
Total				

Además, en la Tabla 3.5 se ofrece un resumen del balance global de materia de cada sustancia, contemplando únicamente entrada y salida del sistema. Como se puede observar, se comprueba que el balance de materia se cierra, respetándose la Ley de la Conservación de la masa.

Tabla 3.4 Balance de materia global de cada componente del proceso

	Entrada total (kg/h)	Salida total (kg/h)
Propano	[redacted]	[redacted]
Isobutano	[redacted]	[redacted]
n-butano	[redacted]	[redacted]
n-Pentano	[redacted]	[redacted]
1-buteno	[redacted]	[redacted]
isobuteno	[redacted]	[redacted]
cis-2-buteno	[redacted]	[redacted]
trans-2-buteno	[redacted]	[redacted]
2M-1-hepteno	[redacted]	[redacted]
1-Dodeceno	[redacted]	[redacted]
1-Hexadeceno	[redacted]	[redacted]
1-Eicoseno	[redacted]	[redacted]
Total (Entrada=Salida)	[redacted]	[redacted]

Como colofón del balance de materia global, es importante mencionar que los porcentajes en peso de cada corte de producto obtenido, son muy similares a los cortes teóricos proporcionados por Axens. Los porcentajes en peso de los cortes están referidos a las 13,8 t/h de alimentación *Raffinate* [redacted], y se muestran en la Tabla 3.6. Las ligeras diferencias pueden deberse a varianzas en las condiciones de la alimentación, condiciones de operación en el reactor, el tipo de catalizador utilizado.

Tabla 3.5 Comparativa entre los cortes de productos obtenidos frente a los teóricos de Axens. Fuente: Elaboración propia

	Cortes	**LPG**	**Gasolina**	**Destilado medio**
Obtenido en el proyecto	Porcentaje en peso (%)	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Axens		[redacted]	[redacted]	[redacted]

3.5. Balances de materia individuales

El objetivo de los balances de materia individuales será presentar los flujos de materia en los equipos que tengan corrientes de salida diferentes a las de entrada. Los equipos que sólo tengan una corriente de entrada y una de salida sin reacción química se omitirán, ya que el balance se limita a Entrada=Salida. Los balances individuales se realizarán para los equipos:

- Reactor R-101
- Separador Flash V-201
- Estabilizadora T-201
- Fraccionadora T-202

Además de estos equipos, en el proceso es de vital importancia la corriente de reciclo para el control de la temperatura de reacción, siendo una base de cálculo para el balance de materia global. Por este motivo, se incluirá un apartado a mayores en el que se presenten los balances de materia en las corrientes que se ven afectadas por esta relación de reciclo.

3.5.1. Reactor R-101

La Figura 3.2 muestra el Reactor R-101 donde tienen lugar las reacciones de oligomerización de olefinas con las conversiones mostradas en la Tabla 3.3.

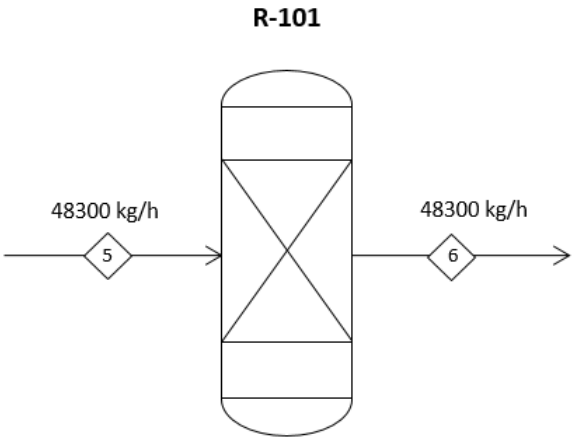


Figura 3.2 Reactor R-101. Elaboración propia

En la Tabla 3.7 se ofrece el balance de materia individualizado para este equipo. Como se puede observar, el balance de materia con reacción química se conserva en términos de masa.

Tabla 3.6 Balance de materia en Reactor R-101. Elaboración propia

Corriente	Flujo molar (kmol/h)		Flujo másico (kg/h)	
	Entrada (5)	Salida (6)	Entrada (5)	Salida (6)
Propano	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Isobutano	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
n-Butano	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
n-Pentano	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1-Buteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Isobuteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Cis-2-Buteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Trans-2-Buteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2-Metil-1-Hepteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1-Dodeceno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1-Hexadeceno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1-Eicoseno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Total	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

3.5.2. Separador Flash V-201

Se incluye la representación del Separador Flash V-201 Figura 3.3 y el balance de materia del equipo en la Tabla 3.8. La entrada al separador Flash proviene de la salida del reactor, después de acondicionar su temperatura y presión a [redacted].

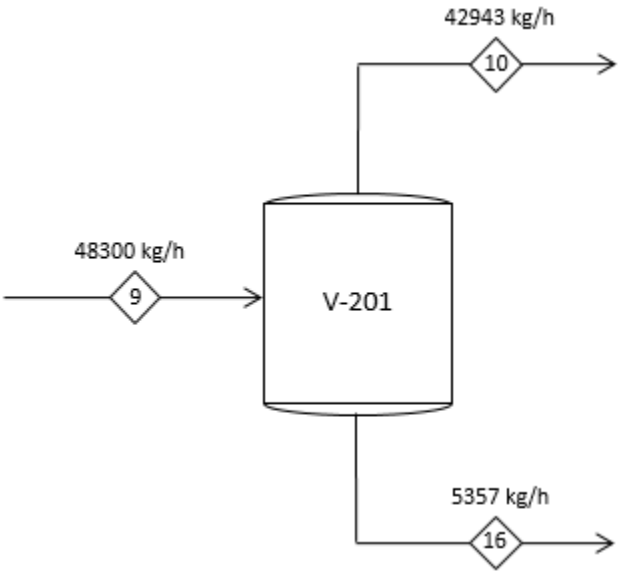


Figura 3.3 Esquema balance de materia en el Separador Flash V-201. Elaboración propia

Tabla 3.7 Balance de materia del Separador Flash V-201. Elaboración propia

Corriente	**Flujo molar (kmol/h)**			**Flujo másico (kg/h)**		
	Entrada (9)	**Vapor Flash (10)**	**Líquido Flash (16)**	**Entrada (9)**	**Vapor Flash (10)**	**Líquido Flash (16)**
Propano						
Isobutano						
n-Butano						
n-Pentano						
1-Buteno						
Isobuteno						
Cis-2-Buteno						
Trans-2-Buteno						
2-Metil-1-Hepteno						
1-Dodeceno						
1-Hexadeceno						
1-Eicoseno						
Total						

3.5.3. Estabilizadora T-201

La Figura 3.4 muestra una representación de la torre estabilizadora T-201 cuyo objetivo es la separación por cabezas del LPG dentro de especificación comercial (20% v/v).

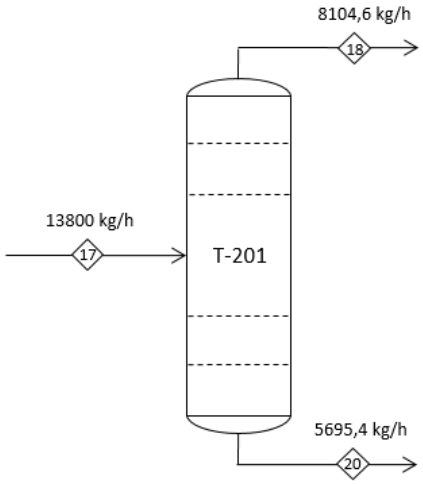


Figura 3.4 Estabilizadora T-201. Elaboración propia

En la Tabla 3.9 se presenta el balance de materia en la columna estabilizadora T-201.

Tabla 3.8 Balance de materia de la estabilizadora T-201. Elaboración propia

Corriente	Flujo molar (kmol/h)			Flujo másico (kg/h)		
	Entrada (17)	LPG (18)	Oligomerato (20)	Entrada (17)	LPG (18)	Oligomerato (20)
Propano	0,4	0,4	0,0	18,0	18,0	0,0
Isobutano	70,0	70,0	0,0	4067,7	4067,7	0,0
n-Butano	46,8	46,8	0,0	2720,2	2720,2	0,0
n-Pentano	4,7	0,0	4,7	338,4	0,0	338,4
1-Buteno	1,9	1,9	0,0	105,1	105,1	0,0
Isobuteno	0,1	0,1	0,0	4,7	4,7	0,0
Cis-2-Buteno	6,5	6,5	0,0	365,5	365,5	0,0
Trans-2-Buteno	14,7	14,7	0,0	823,5	823,5	0,0
2-Metil-1-Hepteno	28,2	0,0	28,2	3164,2	0,0	3164,2
1-Dodeceno	6,8	0,0	6,8	1152,7	0,0	1152,7
1-Hexadeceno	3,2	0,0	3,2	718,7	0,0	718,7
1-Eicoseno	1,1	0,0	1,1	321,4	0,0	321,4
Total	**184,4**	**140,3**	**44,1**	**13800,0**	**8104,6**	**5695,4**

En la Tabla 3.10 se muestra la composición de la corriente de butano comercial que sale por cabezas de la estabilizadora.

Tabla 3.9 Composición de la corriente de LPG comercial. Elaboración propia

LPG comercial					
Olefinas			**Parafinas**		
	kmol/h	kg/h		kmol/h	kg/h
1-Buteno	1,873	105,101	Propano	0,409	18,031
Isobuteno	0,084	4,703	Isobutano	69,988	4067,702
Cis-2-Buteno	6,513	365,453	n-Butano	46,803	2720,188
Trans-2-Buteno	14,676	823,468	n-Pentano	0,000	0,000
Total	**23,146**	**1298,725**	**Total**	**117,200**	**6805,921**
% Olefínico					
Molar				**16,49%**	
Másico				**16,02%**	

Como se puede observar, la contribución olefínica en la corriente es menor al 20% en peso y en moles, por lo que el butano se encuentra dentro de especificación y es apto para ser enviado a almacenamiento en esferas de butano comercial para su salida al mercado.

3.5.4. Fraccionadora T-202

La Figura 3.5 muestra la representación de la columna fraccionadora T-202, con los flujos másicos de entrada de oligomerato y las corrientes de salida de gasolina por cabezas y destilado medio por colas.

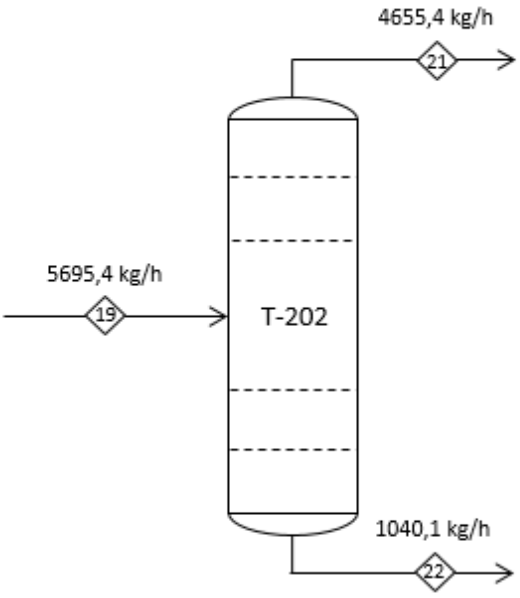


Figura 3.5 Fraccionadora T-202. Elaboración propia

En la Tabla 3.11 están los valores obtenidos del balance de materia en la fraccionadora T-202.

Tabla 3.10 Balance de materia en la torre fraccionadora T-202. Elaboración propia

Corriente	Flujo molar (kmol/h)			Flujo másico (kg/h)		
	Entrada (21)	Gasolina (22)	Destilado medio (24)	Entrada (21)	Gasolina (22)	Destilado medio (24)
Propano	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Isobutano	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
n-Butano	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
n-Pentano	4,7	4,7	0,0	338,4	338,4	0,0
1-Buteno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Isobuteno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cis-2-Buteno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Trans-2-Buteno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Metil-1-Hepteno	28,2	28,2	0,0	3164,2	3164,2	0,0
1-Dodeceno	6,8	6,8	0,0	1152,7	1152,7	0,0
1-Hexadeceno	3,2	0,0	3,2	718,7	0,0	718,7
1-Eicoseno	1,1	0,0	1,1	321,4	0,0	321,4
Total	**44,1**	**39,7**	**4,3**	**5695,4**	**4655,3**	**1040,1**

En las Tablas 3.12 y 3.13 se muestran las composiciones de las corrientes de gasolina y destilado medio, con los respectivos cortes y su porcentaje en peso respecto del total. Para la gasolina se ha considerado un rango de hidrocarburos del rango C5 a C12, y para el destilado medio a partir de C12.

Tabla 3.11 Composición de la corriente gasolina producto. Elaboración propia

Gasolina				
Corte	**Compuesto**	**kmol/h**	**kg/h**	**% en peso**
C5	n-Pentano	4,690	338,377	7,27%
C8	2-Metil-1-Hepteno	28,197	3164,238	67,97%
C12	1-Dodeceno	6,848	1152,652	24,76%
	Total	**39,73**	**4655,27**	**100,00%**

Tabla 3.12 Composición de la corriente destilado medio producto. Elaboración propia

Destilado medio				
Corte	**Compuesto**	**kmol/h**	**kg/h**	**% en peso**
C16	1-Hexadeceno	3,202	718,675	69,10%
C20	1-Eicoseno	1,146	321,412	30,90%
	Total	**4,35**	**1040,09**	**100,00%**

Reciclo

La Figura 3.6 muestra la sección de reacción del diagrama de flujo del proceso en la cual se pueden ver las corrientes afectadas por el reciclo.

- Corriente 12: corriente de salida del tanque de reciclo
- Corriente 13: corriente que dirige de vuelta a la sección de separación
- Corriente 15: corriente de reciclo

La corriente número 12 se divide en dos corrientes: la 13, que se dirige a la entrada de la estabilizadora, y la 15, que es la corriente de reciclo que se mezcla con la alimentación fresca. El caudal másico de la corriente de reciclo viene determinado por una de las bases de cálculo que implica una relación [redacted] de olefinas:parafinas (en peso) en la entrada del reactor, por lo que la corriente 12 tendrá el caudal restante. En la Tabla 16 se muestran los balances de materia en las corrientes mencionadas anteriormente.

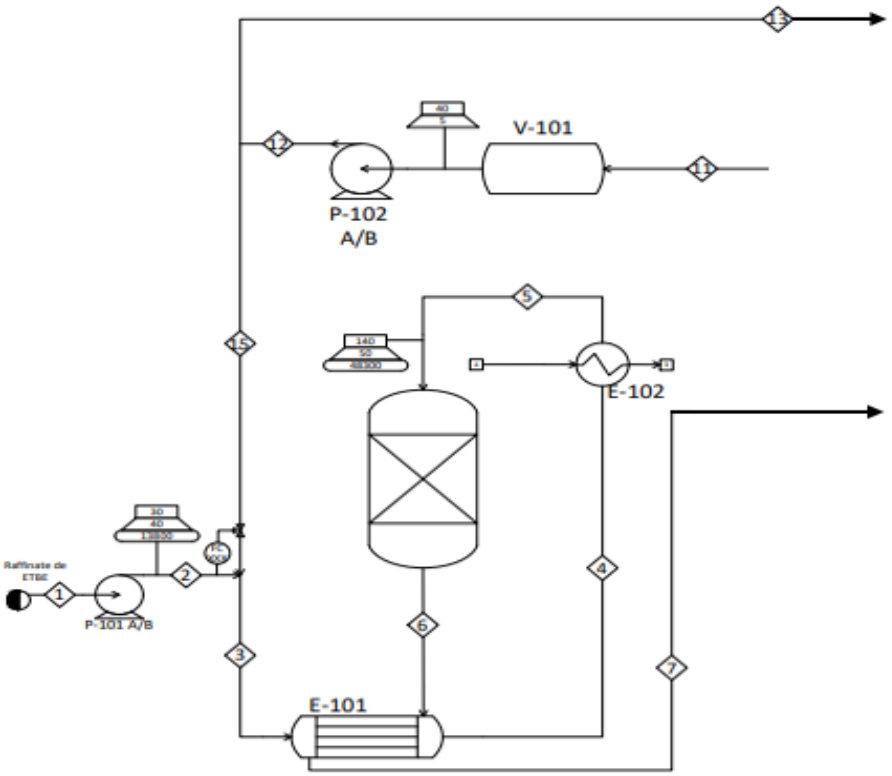


Figura 3.6 Sección de reacción del diagrama de flujo del proceso de oligomerización. Elaboración propia

Tabla 3.13 Balance de materia en las corrientes afectadas por el reciclo. Elaboración propia

Corriente	Flujo másico (kg/h)				
	Alimentación fresca (1)	Entrada reactor (5)	(11)	(12)	Reciclo (14)
Propano	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Isobutano	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
n-Butano	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
n-Pentano	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1-Buteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Isobuteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Cis-2-Buteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Trans-2-Buteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2-Metil-1-Hepteno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1-Dodeceno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1-Hexadeceno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1-Eicoseno	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Total	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

4. Balance de energía

4.1. Introducción

En este apartado se llevarán a cabo los balances de energía en el reactor R-101 y en la fraccionadora T-202, que son los equipos de los cuales se hará el diseño exhaustivo. Además, se explicará detalladamente la problemática que presentan los calores específicos de los componentes de las mezclas reactivas y la solución por la que se ha optado.

4.2. Calores específicos de los componentes de las mezclas

A continuación, se planteará el problema asociado a los calores específicos de los compuestos involucrados en las corrientes y la solución adoptada frente al mismo.

4.2.1. Planteamiento del problema

A la hora de realizar el balance de energía en cualquier equipo es necesario conocer los calores específicos de los componentes que forman las mezclas. Se puede definir el calor específico como la cantidad de energía que es necesario suministrar por unidad de materia a una sustancia o compuesto para aumentar su temperatura una unidad.

Esta propiedad varía con la temperatura, aunque en muchas ocasiones esta dependencia no es muy grande y se puede asumir constante a lo largo de un rango determinado. Otras muchas veces la relación que presenta el calor específico con la temperatura es lineal y, por lo tanto, fácil de correlacionar. En mezclas complejas de hidrocarburos, como es el caso de las corrientes que intervienen en el balance de energía, la situación es muy diferente. Las propiedades de los compuestos varían de forma exagerada cuando se encuentran en mezcla y, cuanto más compleja es la mezcla, más varían.

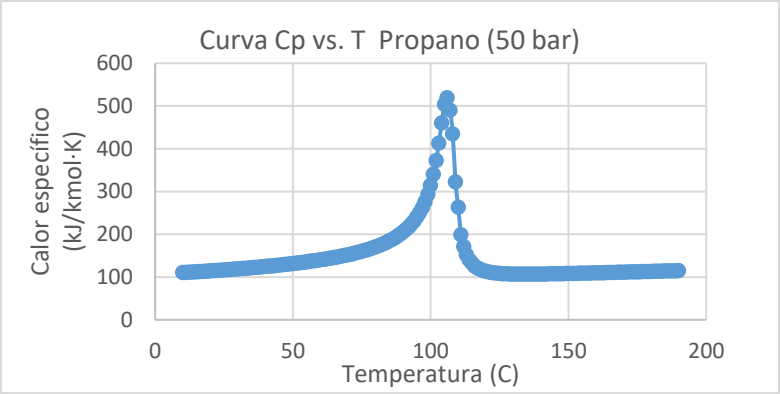


Figura 4.1 Variación del calor específico del propano frente a la temperatura a 50 bar. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Aspen One.

En la Figura 4.1 se puede observar una tendencia exponencial para el calor específico en función de la temperatura hasta los 105ºC aproximadamente. Llegados a este punto la tendencia cambia drásticamente y el calor específico disminuye de forma brusca debido al cambio de fase del compuesto. Pese a esta información, la realidad es otra: la corriente de entrada al reactor (que contiene propano) es totalmente líquida en las condiciones de alimentación ([redacted]) y por lo tanto no sería consistente utilizar los datos proporcionados en la *Ilustración 1* para realizar el balance de energía.

En la Figura 4.2 se muestran los datos análogos para el isobutano, compuesto presente en mayor cantidad en la alimentación al reactor R-101.

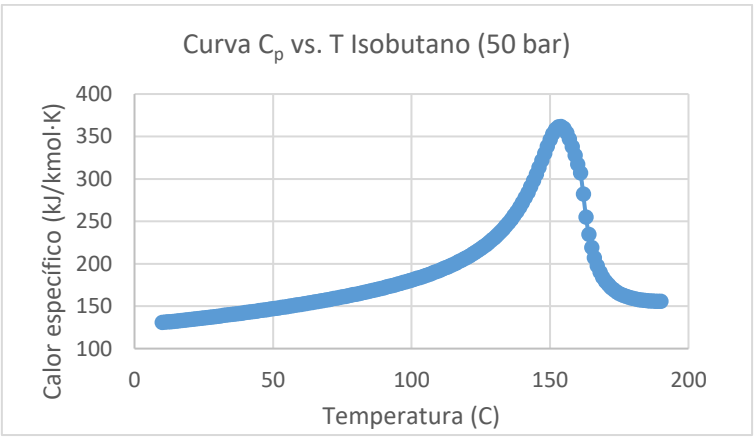


Figura 4.2 Variación del calor específico del isobutano frente a la temperatura a 50 bar. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Aspen One.

El isobutano es un compuesto parafínico y, por lo tanto, inerte a lo largo de la reacción. Aunque la variación de temperatura en el lecho es aún desconocida se estima que será de unos [redacted], por lo que según la curva de la Figura 4.2 la fracción de isobutano presente en la corriente de salida debería estar en fase gaseosa (teniendo en cuenta una temperatura de salida de [redacted]). A pesar de esto, a través de los estudios en planta piloto realizados por Repsol se sabe que la corriente de salida está en fase líquida y por lo tanto se comprueba, otra vez, que las propiedades de los hidrocarburos cambian cuando están en mezcla.

Lo mismo sucede con el resto de compuestos, aunque a medida que aumenta el peso molecular de los mismos la relación se aproxima más a la linealidad. Estos problemas asociados al calor específico se dan, principalmente, en las fracciones C3 y C4 de la mezcla.

4.2.2. Solución adoptada

El problema planteado en el apartado anterior deja claro que no es consistente utilizar los calores específicos de las sustancias para temperaturas mayores a las del cambio de fase en estado puro. Como se explicará con más detalle en el balance de materia del reactor, el objetivo es calcular la temperatura de llama adiabática y para ello es necesario conocer los calores específicos de las sustancias a 25 ºC y a la temperatura a la que se encuentran.

Según todas las posibilidades planteadas respecto a esta situación se ha llegado a la conclusión de que la forma en la que se cometerá menor error de cálculo es la siguiente: se correlacionarán los calores específicos de las sustancias hasta la temperatura en la que se produzca el cambio de fase mediante un ajuste polinómico de grado 6 y se asumirá como calor específico máximo el que cumpla satisfactoriamente la correlación.

Para plantearlo de forma más gráfica, se utilizará el propano como ejemplo. En la Figura 4.1 se mostró la curva del calor específico del propano frente a la temperatura a 50 bar y en la Figura 4.3 se muestran los datos seleccionados (previos al cambio de fase) y la correlación establecida.

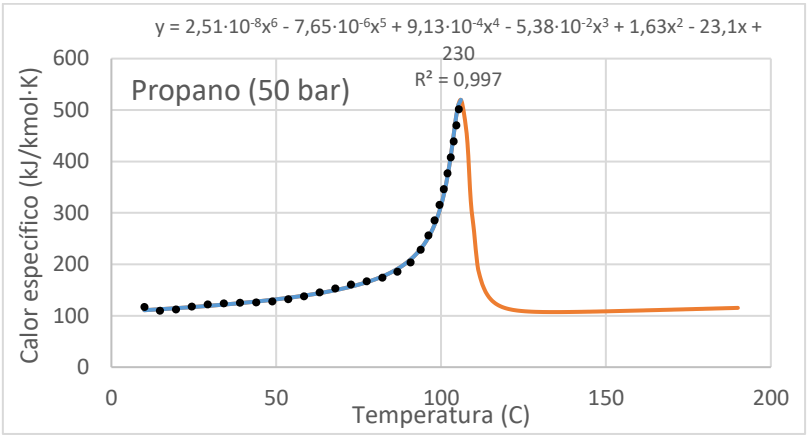


Figura 4.3 Correlación establecida para el propano a 50 bar y región de datos eliminada. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Aspen One

Como criterio, se seleccionarán para llevar a cabo la correlación aquellos datos para los que se obtenga un coeficiente de determinación (R^2) mayor o igual que 0,99. En algunos casos esto significará que la última temperatura correlacionada no corresponde con la del cambio de fase si no que es ligeramente menor a éste.

4.2.3. Calores específicos de los componentes de las mezclas

En esta sección se expondrá la evolución de los calores específicos con la temperatura de los componentes de la mezcla para la presión de 1 bar. Las gráficas se presentarán englobando los compuestos en parafinas, olefinas y productos, con el fin de que se facilite una visión general de la propiedad en los compuestos sin extenderse de forma innecesaria. Para consultar las gráficas individuales a diferentes presiones véase el Anexo III. Calores específicos.

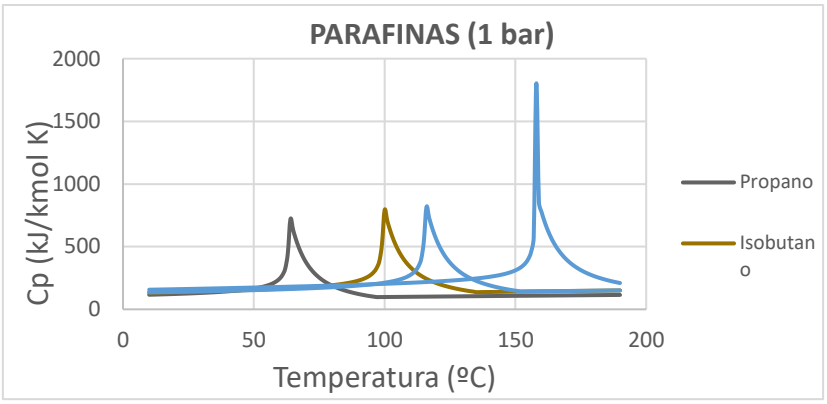


Figura 4.4 Evolución del calor específico con la temperatura de las parafinas. Fuente: Elaboración propia

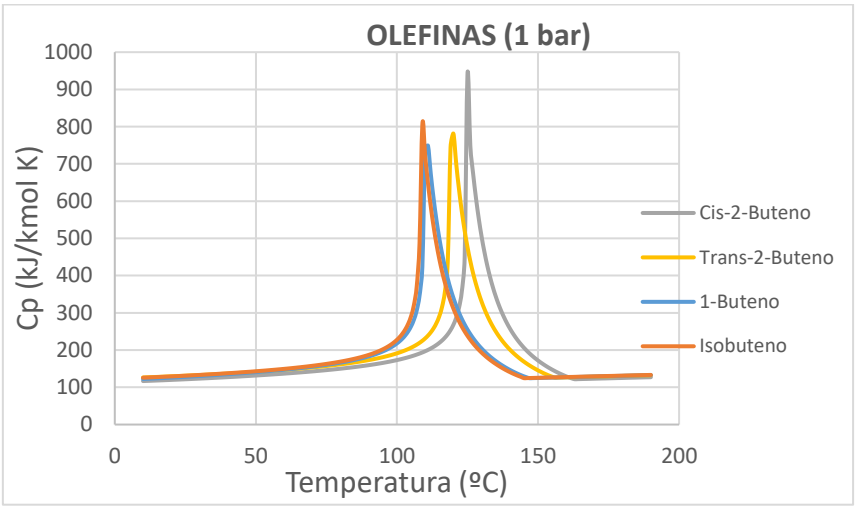


Figura 4.5 Evolución del calor específico con la temperatura de las olefinas. Fuente: Elaboración propia

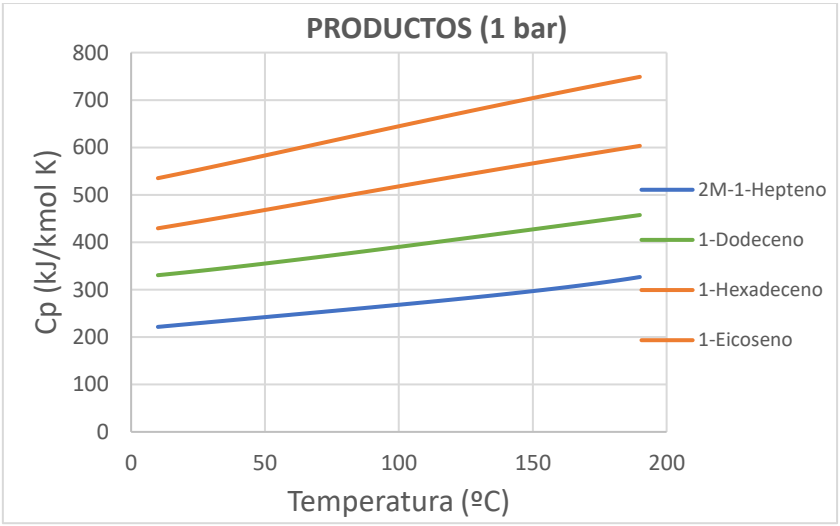


Figura 4.6 Evolución del calor específico con la temperatura de las productos. Fuente: Elaboración propia

Las correlaciones desarrolladas para el calor específico en función de la temperatura se muestran en el Anexo III. Calores específicos.

4.2.4. Conclusiones para los calores específicos

Utilizando todas las correlaciones mostradas en la Tabla 4.1 se procederá a calcular los balances de energía. En vez de utilizar el método común a través del que se supone el calor específico lineal y se toma el valor medio a lo largo de las temperaturas, el calor específico se ajustará con una ecuación polinómica de grado 6 en función de la temperatura. La complejidad del cálculo es mayor, y para su resolución se utilizará un programa de cálculo computacional.

4.3. Reactor R-101

El equipo R-101 es un reactor [redacted] en el que tienen lugar las reacciones de oligomerización del proceso (Tabla 3.3). Las condiciones de operación para el catalizador de sílicie-alumina (SKRT) son [redacted].

La temperatura de reacción en el lecho debe ser lo más cercana posible a [redacted], sin embargo, ya que las reacciones de oligomerización son muy exotérmicas, inevitablemente la temperatura a lo largo del lecho irá aumentando. Para mantener una distribución de temperatura en el reactor lo más cercana a [redacted], se ha optado por acondicionar la alimentación al reactor a una temperatura de [redacted], estimando el delta T en el lecho sobre [redacted] [1].

Dentro del reactor, como se ha mencionado anteriormente, la exotermicidad de las reacciones producirá un calor que será absorbido por los compuestos, por lo que el objetivo de este balance de energía será el cálculo de la temperatura de llama adiabática, obteniendo la temperatura de salida del reactor más desfavorable, cuando la variación total de entalpía es 0, ya que en el proceso adiabático no existe intercambio de calor con el exterior.

Para la realización del cálculo del balance energético se utilizarán las Ecuaciones 1, 2 y 3.

$$\Delta H_{total} = \Delta H_{reactivos} + \Delta H_{productos} + \Delta H_{reacción\ 25ºC} \quad [4.1]$$

$$\Delta H_{reactivos} = n_i \int_{Tentrada}^{Tref} cp_i(T)\, dT \quad [4.2]$$

$$\Delta H_{productos} = n_i \int_{Tref}^{Tsalida} cp_i(T)\, dT \quad [4.3]$$

$$\Delta H_{reacción\ 25ºC,j} = \left(\sum_{i=1}^{n} (\nu_i\, \Delta H^0_{f,i})_{productos} - \sum_{i=1}^{n} (\nu_i\, \Delta H^0_{f,i})_{reactivos} \right) * n_{reaccionados,j} \quad [4.4]$$

Siendo:

- ΔH, entalpía (kJ/h)
- ni_i, flujo molar del componente i (kmol/h)
- C_{pi}, calor específico del componente i (kJ/kmol ºC)
- T_{ref}, temperatura de referencia de 25ºC (ºC)
- $T_{entrada}$, temperatura de entrada al reactor (ºC)
- T_{salida}, temperatura de salida del reactor (ºC)
- $\Delta H_{reacción\ a\ 25ºC,\ j}$, entalpía de la reacción j a la temperatura de referencia (kJ/h)
- v_i, coeficiente estequiométrico del compuesto i en la reacción
- $\Delta H_{f,i}^0$,entalpía de formación del componente i (kJ/kmol)
- $n_{reaccionados,\ j}$, flujo molar reaccionado en la reacción j (kmol/h)

[1] Dato calculado por Repsol en los ensayos en planta piloto

El método aplicado para resolver el balance se esquematiza en la Figura 4.7

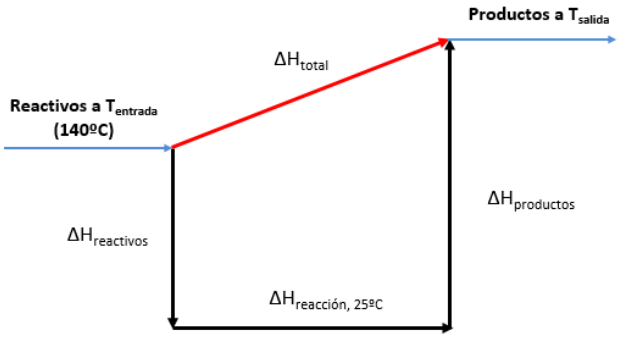


Figura 4.7 Esquema del procedimiento de cálculo del balance energético

Dado que el sistema es adiabático se debe cumplir la condición:

$$\Delta H_{total} = \Delta H_{reactivos} + \Delta H_{productos} + \Delta H_{reacción\ 25ºC} = 0 \qquad [4.5]$$

Por lo tanto, desarrollando la ecuación [4.1]:

$$n_i \int_{Tentrada}^{Tref} cp_i(T)\, dT + n_i \int_{Tref}^{Tsalida} cp_i(T)\, dT + \left(\sum_{i=1}^{n} (\nu_i\, \Delta H^0_{f,i})_{productos} - \sum_{i=1}^{n} (\nu_i\, \Delta H^0_{f,i})_{reactivos} \right) * n_{reaccionados,j} = 0 \qquad [4.6]$$

Siendo:

- T_{ref}= 25 ºC
- $T_{entrada}$= [redacted]
- T_{salida}= desconocida

Los calores de reacción se muestran en la Tabla 3.3 junto con las conversiones. Los calores específicos utilizados serán las ecuaciones expuestas en la sección *Calores específicos de los componentes de las mezclas*, pero teniendo en cuenta que hay ciertas correlaciones que no son válidas a la temperatura de entrada y salida, por lo que se seguirá el criterio explicado en la sección *Solución adoptada*. Los flujos molares se encuentran en la Tabla 3.7.

Como se ha explicado en al apartado *Bases de cálculo*, la relación de reciclo se encuentra limitada por el delta T del reactor que permita mantener la fase líquida en todo momento. En la Tabla 4.1 se muestra el efecto de la relación másica reciclo/alimentación fresca sobre la diferencia de temperatura en el lecho del reactor. Las temperaturas de salida se han calculado utilizando la herramienta de cálculo Solver de Excel. Como se puede observar, a mayor caudal de reciclo, menor es la temperatura de salida, y en consecuencia menor es el delta T. Esto se debe a que la corriente de reciclo está compuesta principalmente por parafinas inertes que absorben calor de reacción.

Tabla 4.1 Efecto del reciclo sobre el delta T del reactor. Fuente: Elaboración propia

Relación másica		Relación Olefinas:Parafinas (en peso)		T salida (ºC)	dT (ºC)
Alimentación	Reciclo	Reciclo	Entrada reactor		
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

En la Figura 4.8 se ofrece un esquema del delta T del reactor para diferentes relaciones de reciclo (R).

Información no disponible en la versión pública.

Figura 4.8 Esquema del efecto de la relación de reciclo (R) sobre la temperatura de salida del reactor. Fuente: Elaboración propia

Se concluye que la relación de reciclo que mejor se adhiere a las especificaciones facilitadas por Repsol[2] es de [redacted] alimentación fresca:reciclo. Esto provoca que la temperatura de salida del reactor sea de [redacted] con un delta T de [redacted], lo que respeta la operación en fase líquida dentro del equipo.

4.4. Fraccionadora T-202

En este apartado se llevará a cabo el balance de energía global de la columna de destilación T-202, lo que significa que se calculará el calor intercambiado en el condensador E-203 y en el *reboiler* E-204. Además, para realizar el diseño de la fraccionadora se han utilizado métodos rigurosos y se ha llevado a cabo un balance de energía en cada plato (Véase Anexo II. Cálculos Justificativos, Parte B).

[2] Concentración olefinas:parafinas [redacted] (en peso) en la entrada del reactor

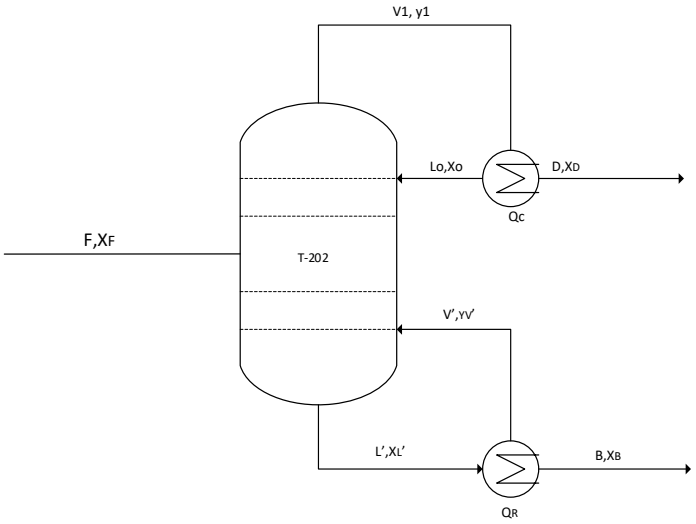


Figura 4.9 Esquema simplificado de la fraccionadora T-202. Fuente: elaboración propia.

Para realizar el balance de energía en la columna será necesario calcular, en primer lugar, el calor intercambiado en el condensador y posteriormente el calor intercambiado en el *reboiler*. Para ello se realiza un balance en el condensador:

$$V_1 \cdot H_1 + Q_c = D \cdot h_D + L_o \cdot h_o \quad [4.7]$$

Teniendo en cuenta que:

$$h_D = h_o \quad [4.8]$$

$$V_1 = D + L_o \quad [4.9]$$

Se puede simplificar el balance a la siguiente expresión:

$$Q_c = V_1 \cdot (h_D - H_1) \quad [4.10]$$

En la Tabla 4.3 se muestran las entalpías del vapor y del líquido a la temperatura del condensador (159°C). Se calcula la entalpía total de la corriente como la suma de la entalpía de cada componente en su fase y temperatura correspondiente a través de las correlaciones expuestas en el Anexo III. Calores específicos.

Tabla 4.2: Entalpías de vapor y líquido a la temperatura y composición del condensador. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Aspen Plus.

Temperatura condensador (°C)		**159**	
Compuesto	h_i (kJ/kmol)	H_i (kJ/kmol)	$y_1=x_D$
n-Pentano	$-1{,}40\cdot10^5$	$-1{,}28\cdot10^5$	$1{,}18\cdot10^{-1}$
2-Metil-1-Hepteno	$-1{,}02\cdot10^5$	$-6{,}81\cdot10^4$	$7{,}10\cdot10^{-1}$
1-Dodeceno	$-1{,}72\cdot10^5$	$-1{,}25\cdot10^5$	$1{,}72\cdot10^{-1}$
1-Hexadeceno	$-2{,}57\cdot10^5$	$-1{,}95\cdot10^5$	$8{,}06\cdot10^{-5}$
1-Eicoseno	$-3{,}39\cdot10^5$	$-2{,}64\cdot10^5$	0
Total	$\mathbf{-1{,}19\cdot10^5}$	$\mathbf{-8{,}49\cdot10^4}$	**1**

Donde:

- h_i: Entalpía de cada componente en estado líquido a la temperatura indicada.
- H_i: Entalpía de cada componente en estado vapor a la temperatura indicada.
- y_1: Composición de la corriente de vapor que entra al condensador y que, a consecuencia de utilizar un condensador total, coincide con la de la corriente líquida que abandona el mismo.

Se obtiene el resultado mostrado en la Tabla 4.4.

Tabla 4.3: Resultados obtenidos del balance energético al condensador. Fuente: elaboración propia.

V_1 (kmol/h)	59,60
h_D (kJ/kmol)	$-1{,}19\cdot10^5$
H_1 (kJ/kmol)	$-8{,}49\cdot10^4$
Qc[3] (kJ/h)	**$2{,}01\cdot10^6$**
Qc (kW)	**558,61**

Donde:

- V_1: Caudal molar de la corriente de cabezas que entra al condensador.
- H_1: Entalpía de la corriente de vapor que entra al condensador.
- h_D: Entalpía de la corriente de producto obtenida por cabezas.
- Q_c: Calor intercambiado en el condensador.

A continuación, se realiza un balance de energía global en la fraccionadora T-202:

$$F \cdot h_F + Q_R + Q_c = D \cdot h_D + B \cdot h_B \qquad [4.11]$$

Calculando las entalpías correspondientes a cada corriente (esta vez a la temperatura del *reboiler*, 295 ºC) de la misma manera que en el condensador, se obtiene:

Tabla 4.4: Tabla resumen de los resultados obtenidos para el balance energético global en la columna T-202. Fuente: elaboración propia.

F (kmol/h)	44,08
D (kmol/h)	39,73
B (kmol/h)	4,35
h_F (kJ/kmol))	$-1{,}13\cdot10^5$
h_D (kJ/kmol)	$-1{,}19\cdot10^5$
h_B (kJ/kmol)	$-1{,}87\cdot10^5$
Qc (kJ/h)	**$2{,}01\cdot10^6$**
Qc (kW)	**558**
Qr (kJ/h)	**$1{,}46\cdot10^6$**
Qr (kW)	**406,69**

[3] La transferencia de calor en el intercambiador se ofrece como valor absoluto

Donde:

- F: Caudal molar de la corriente de alimentación a la fraccionadora.
- D: Caudal molar de la corriente de producto obtenida por cabezas.
- B: Caudal molar de la corriente de producto obtenida por colas,
- h_F: Entalpía total de la corriente de alimentación a la fraccionadora.
- h_D: Entalpía de la corriente de producto obtenida por cabezas.
- h_B: Entalpía de la corriente de producto obtenida por colas.
- Q_r: Calor intercambiado en el *reboiler*.

4.5. Estabilizadora T-201

Se aplica el mismo procedimiento que para la fraccionadora T-202. Realizando una simulación en Aspen Hysys se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 4.5: Resultados balance energía a la estabilizadora T-201. Fuente: elaboración propia a partir de Aspen Hysys.

	kJ/h	kW
Qc	$5{,}97 \cdot 10^6$	1657
Qr	$6{,}81 \cdot 10^5$	1891

ANEXO II

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Planta de oligomerización de Butano olefínico

ÍNDICE ANEXO II. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

- ALCANCE
- PARTE A. DISEÑO DEL REACTOR R-101
- PARTE B. DISEÑO DE LA FRACCIONADORA T-202
- PARTE C. DIMENSIONAMIENTO VÁLVULAS DE ALIVIO

ALCANCE

El objetivo del presente anexo es abordar el diseño de dos unidades (una por alumno) relevantes de la Planta de Oligomerización mediante métodos rigurosos de diseño, según establece la Rúbrica para la evaluación del Trabajo de Fin de Grado.

Las diferentes alternativas de oligomerización analizadas en la sección *Alternativas*, pese a utilizar tecnologías de diferentes licenciatarios, siguen un patrón similar en lo referido al funcionamiento del proceso. Entre todas las características de las alternativas, la que mayor distinción proporciona al proceso es el catalizador sobre el cual tienen lugar las reacciones de oligomerización. Por este motivo, una de las unidades a diseñar rigurosamente será el Reactor catalítico R-101.

Por otro lado, la empresa Repsol ha mostrado interés en el diseño de una segunda etapa de separación en el proceso. Debido a esto, la segunda unidad de diseño riguroso será la columna fraccionadora T-202, satisfaciendo las peticiones de la empresa y a su vez completando los requerimientos establecidos en la Rúbrica.

PARTE A

DISEÑO DEL REACTOR R-101

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

ÍNDICE

1. Introducción 3
2. Modo de operación 4
3. Condiciones de operación 5
4. Consideraciones de diseño 5
5. Catalizador seleccionado 6
6. Cinética del sistema reactivo 6
   6.1. Planteamiento del problema 6
   6.2. Solución adoptada 6
   6.3. Reacciones 6
   6.4. Etapas del proceso catalítico 6
   6.5. Modelo cinético 8
   6.6. Secuencia reactiva 11
   6.7. Desarrollo de ecuaciones cinéticas 12
      6.7.1. Parámetros del modelo 14
         6.7.1.1. Parámetros cinéticos 14
         6.7.1.2. Parámetros de adsorción 15
      6.7.2. Leyes de velocidad 15
7. Diseño del reactor 16
   7.1. Modelos matemáticos 16
   7.2. Balances de materia 17
   7.3. Balance de energía 18
   7.4. Resolución de las ecuaciones de diseño 22
      7.4.1. Caso de diseño 22
   7.5. Resultados 24

7.6. Dimensionamiento del reactor 29

7.7. Efecto de la forma de la partícula de catalizador 30

7.8. Caída de presión ..... **¡Error! Marcador no definido.**

8. Diseño mecánico del Reactor R-101 30

8.1. Condiciones de operación de diseño 31

8.2. Selección de material 32

8.2.1. Características del material seleccionado 37

8.3. Eficacia de soldadura 39

8.4. Espesores de pared 39

8.5. Cabezales 41

8.6. Espesor de aislante 42

8.7. Análisis estructural del recipiente sujeto a cargas combinadas 48

8.7.1. Peso muerto del recipiente 48

8.7.2. Peso del catalizador 49

8.7.3. Peso del aislante 49

8.7.4. Cargas por viento 50

8.7.5. Análisis de tensiones 51

8.8. Soportes 52

8.8.1. Espesor de la falda 53

8.9. Componentes internos del reactor 54

9. Bibliografía 57

1. Introducción

El Reactor R-101 se trata de un reactor catalítico donde ocurren las reacciones de oligomerización de los butenos hacia dímeros, trímeros, tetrámeros y pentámeros.

Un catalizador puede ser definido como una "sustancia que aumenta la velocidad a la que una reacción se acerca al equilibrio sin intervenir permanentemente en la reacción" [1].

La misión de un reactor catalítico es poner contacto catalizador y reactivos, de forma que la conversión progrese de forma adecuada. Dependiendo de la fase en la que se encuentre el catalizador, los reactores catalíticos se clasifican en homogéneos (una sola fase presente), heterogéneos (dos fases) y enzimáticos (catalizadores bioquímicos).

Este proceso catalítico de oligomerización ([redacted]) se basa en una reacción de una fase fluida (líquida) con un catalizador sólido. Se trata de la situación más común en la industria química actual debido a la facilidad para la separación del sólido de la mezcla reactiva y las ventajas cinéticas que se consiguen. Sin embargo, en estos sistemas existen dos factores que complican el diseño respecto a los sistemas homogéneos [2]:

- Poner en contacto dos fases diferentes implica cierta transferencia de materia entre ellas. Esto se debe tener en cuenta a la hora de expresar la velocidad de reacción, y es diferente para cada sistema heterogéneo.
- El esquema de contacto heterogéneo se complica cuando se involucran diferentes modelos de flujo para cada una de las fases.

Por otro lado, entre las diferentes formas de poner en contacto catalizador y mezcla reactiva fluida, la más utilizada comercialmente dispone las partículas sólidas del catalizador en un lecho y este es atravesado por el fluido. Por último, dependiendo de la disposición del lecho dentro del reactor, existen reactores de lecho fijo (utilizado en este proceso), de lecho fluidizado y lecho móvil. En la Tabla 1.1 se muestra una comparativa entre lecho fijo y fluidizado.

Tabla 1.1 Comparativa entre reactores de lecho fijo y fluidizado. Fuente: [1]

	Lecho fijo	**Lecho fluidizado**
Modelo de flujo	Sencillo. Similar a Flujo Pistón	Complejo. Modelo de borboteo
Control de Temperatura	ΔT axial y radial	ΔT≈0 (isotermo)
Caída de presión	Elevada	Baja
Desactivación del catalizador	Sobredimensionamiento del reactor y cambio en las paradas	Regeneración *in situ*

2. Modo de operación

En la Figura 2.1 se muestran los diferentes modos de operación para reactores catalíticos de lecho fijo.

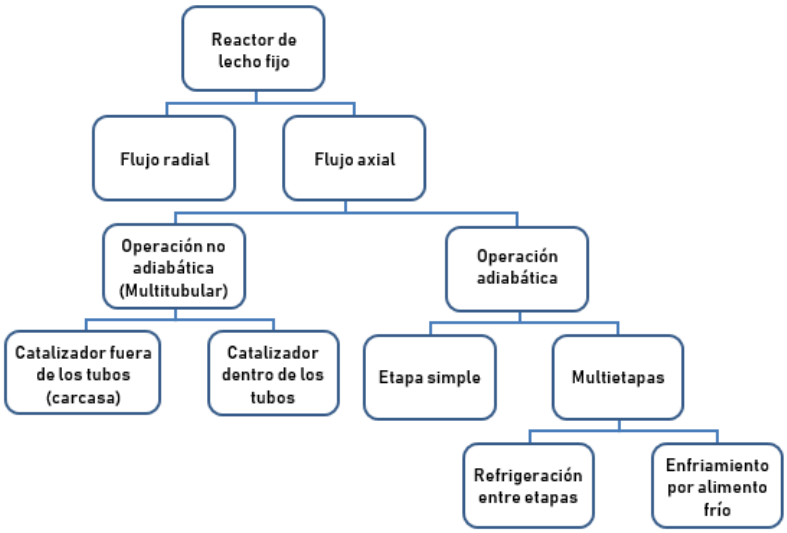


Figura 2.1 Modos de operación en reactores catalíticos de lecho fijo. Fuente: Elaboración propia adaptado de [1]

Para la disposición del flujo se considerará flujo axial descendente del fluido a lo largo del reactor, ya que es el más común utilizado industrialmente. Aún así, actualmente el flujo radial en el reactor también está ganando peso comercialmente ya que reduce la caída de presión al proporcionar mayor sección de paso de fluido.

En los casos que es necesario añadir o eliminar calor, se necesitan utilizar múltiples tubos por donde circula la mezcla reactiva en presencia de catalizador, mientras que el intercambio energético con los alrededores se obtiene circulando un fluido entre el espacio vacío entre tubos, como se observa en la imagen de la derecha de la Figura 2.2.

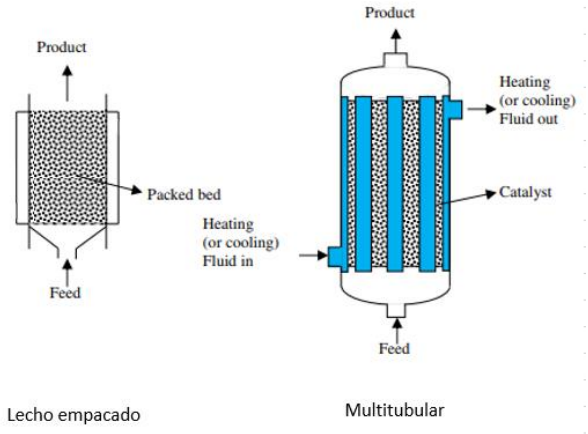


Figura 2.2 Reactor de lecho fijo multitubular y sin tubos. Fuente: [3]

Las reacciones de oligomerización son altamente exotérmicas, por lo que podría considerarse el uso de algún fluido refrigerante o de enfriamento entre etapas para mantener la temperatura de reacción y evitar la posibilidad de alguna reacción *runaway*. Sin embargo, la estrategia que recoge este proceso es el aprovechamiento de la corriente de recirculación de parafinas inertes

que actúan como sumidero de parte del calor de reacción, eliminando la necesidad de una camisa de refrigeración. De esta forma, la operación en el reactor R-101 se aproxima adiabática y no se utilizará ningún fluido que elimine el calor generado por las reacciones. Por tanto en este caso no se requiere un reactor multitubular, sino que será un único tubo de mayor diámetro en el que se disponga el catalizador y sea atravesado por los compuestos de la mezcla (parte izquierda Figura 2.2).

Según lo expuesto previamente, **el Reactor R-101 será un reactor adiabático catalítico de lecho fijo y será diseñado en base a los principios de la catálisis heterogénea**.

3. Condiciones de operación

Las condiciones de operación establecidas por el licenciatario [redacted] son [redacted]. A lo largo del reactor, en consecuencia a la exotermicidad de las reacciones, se espera un aumento de temperatura que será calculado posteriormente. Según los datos ofrecidos por el simulador Aspen, la mezcla permanece en fase líquida en todo el rango de operación del reactor.

Como estrategia se ha decidido que la temperatura de la mezcla a la entrada del reactor sea de [redacted], para permitir una distribución de temperatura más uniforme en torno a [redacted] en la mayor superficie catalítica posible.

4. Consideraciones de diseño

Para realizar el diseño del reactor catalítico, en primer lugar se deben definir las propiedades del sistema, que se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Consideraciones de diseño de un reactor catalítico. Fuente: [1]

Propiedades del sistema	
Catalizador	Composición
	Estructura y tamaño
	Propiedades
Cinética	Esquema de reacciones
	Velocidad de reacción
	Equilibrio químico/Conversión
	Entalpía de reacción
	Dependencia de la temperatura
Lecho	Transmisión de calor
	Caída de presión

El siguiente paso es encontrar la masa de catalizador mínima ($W_{mín}$) que permita alcanzar la conversión deseada de los reactivos, para así definir las dimensiones del lecho. Además de las consideraciones de diseño será necesario el desarrollo de los balances de energía y materia para cada sustancia involucrada en las reacciones.

5. Catalizador seleccionado

Información no disponible en la versión pública.

6. Cinética del sistema reactivo

6.1. Planteamiento del problema

Es importante mencionar que los licenciatarios de tecnología suelen ser bastante cautos a la hora de proporcionar datos en la web. En concreto, el catalizador seleccionado para el proceso [redacted] (SKRT) se encuentra actualmente comercializado por [redacted] para su aplicación industrial.

Esta es una de las razones por la que no existen informes cinéticos públicos sobre oligomerización de olefinas utilizando este catalizador en específico. Las empresas deben adecuarse a un mercado muy exigente y deben acogerse a la confidencialidad de sus procesos frente a la competencia.

6.2. Solución adoptada

Debido a que para el diseño riguroso de un reactor catalítico, es necesario trabajar con ecuaciones cinéticas, la solución adoptada para el diseño será utilizar estudios cinéticos de oligomerización de butenos sobre un catalizador que pertenezca a la misma familia de catalizadores.

Teniendo en cuenta esta problemática, los datos cinéticos utilizados para el diseño del reactor catalítico R-101 fueron sido recogidos en un estudio llevado a cabo por L. M. TIako Ngandjui et al. acerca de la oligomerización de n-Butenos sobre H-Modernite (HMOR 38), un catalizador de modernita (mineral de zeolita) dealuminado con una forma protónica con un ratio Si/Al de 38 [7].

Al tratarse de un catalizador de la misma familia que el SKRT de [redacted], es razonable asumir que los resultados obtenidos serán similares en cuanto a dimensiones y cantidad de catalizador necesaria en el Reactor R-101.

6.3. Reacciones

Información no disponible en la versión pública.

6.4. Etapas del proceso catalítico

El mecanismo de reacción catalítica heterogénea es un proceso complejo que ocurre a través de una serie de etapas químicas en la superficie del catalizado, que involucran procesos de adsorción, reacción y desorción. Las etapas que tienen lugar se enumeran a continuación y se muestran en la Figura 6.2 [8].

1. Difusión externa de reactivos desde el fluido a la superficie externa del catalizador
2. Difusión interna de los reactivos desde la superficie del poro hasta la superficie catalítica

3. Adsorción de los reactivos sobre un sitio activo del catalizador
4. Reacción en la superficie del catalizador: únicamente interviene un sitio activo (sitio único), interaccionan dos sitios activos (mecanismo dual), o reacciona un reactivo adsorbido con otro en fase fluida (Eley-Rideal)
5. Desorción de los productos de reacción de la superficie del catalizador
6. Difusión interna de los productos desde el interior de los poros hacia la superficie externa
7. Difusión externa de los productos hacia el seno del fluido

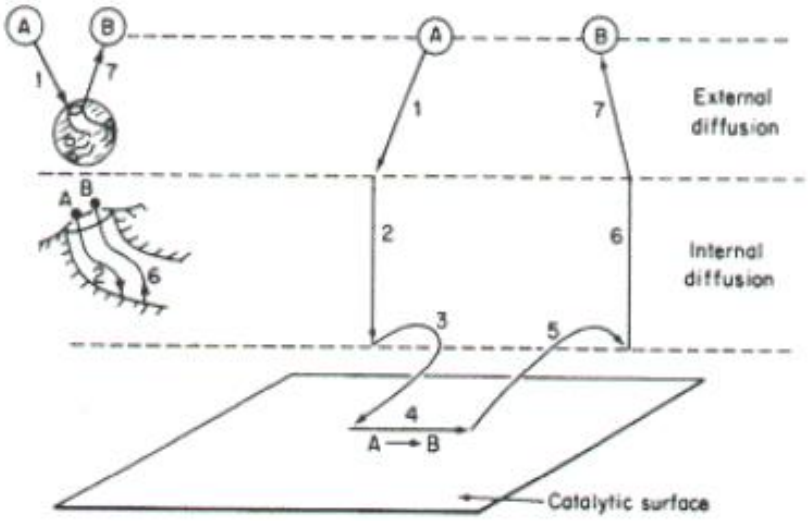


Figura 6.1 Etapas de una reacción catalítica heterogénea. Fuente: [8]

Las **etapas 1 y 7** de difusión externa, y la **2 y 6** de difusión interna, se refieren a fenómenos de transferencia de materia desde el seno del fluido hasta la superficie del catalizador, y respectivamente. Se trata de etapas que pueden tener influencia en la aplicación de las expresiones matemáticas que rigen las leyes de velocidad, por lo que existen criterios de comprobación para ver si estos efectos son significantes en las cinéticas globales.

La **etapa 3: adsorción**. Es importante mencionar que el fenómeno catalítico heterogéneo requiere de la adsorción de por lo menos uno de los reactivos en la superficie del catalizador. Conocer la cantidad de moléculas adsorbidas en la superficie activa es un parámetro de vital importancia ya que tiene influencia directa en la reacción.

La forma más común de representar el fenómeno de adsorción molecular es la siguiente:

$$A + \theta_v \leftrightarrow \theta_A \quad [9]$$

$$r_{ads} = k_A P_A \theta_v - k_{-A}\theta_A = k_A \left(P_A \theta_v - \frac{\theta_A}{b_A}\right) \quad [10]$$

Donde θ_v representa la fracción de sitios activos vacíos en el catalizador, θ_A representa la fracción de A adsorbida en los centros activos, k_A es la constante de adsorción de A, k_{-A} es la constante de desorción de A, P_A es la presión parcial de A en el seno del fluido y b_A es la constante de equilibrio de adsorción ($b_A=k_A/k_{-A}$).

Con esta expresión, la concentración (o presión) de reactivo en la fase fluida se relaciona con la concentración de reactivo adsorbido en la superficie activa del catalizador. Cuando la adsorción de reactivos A ha llegado a su límite en la superficie del catalizador, esta cesa, y alcanza el equilibrio. Esto significa que la tasa de adsorción de moléculas a los centros activos es igual a la tasa de desorción de estas. Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$r_{ads} = k_A P_A \theta_v - k_{-A} \theta_A = 0 \quad [11]$$

La relación entre la concentración de un compuesto adsorbido y su presión en la fase fluida con la que está en equilibrio a temperatura constante se representa mediante lo que se denomina la **Isoterma de adsorción de Langmuir**. Aplicando los un balance de centros activos y desarrollando matemáticamente, se obtiene la expresión:

$$\theta_A = \frac{b_A P_A}{1 + b_A P_A} \quad [12]$$

El ejemplo explicado es el más sencillo, y consiste en un tipo de adsorción unimolecular. En caso de que en la adsorción estuviese involucrada más de una molécula, el desarrollo matemático sería el mismo, obteniendo la expresión:

$$\theta_i = \frac{b_i P_i}{1 + \sum_{i=1}^{n} b_i P_i} \quad [13]$$

La expresión de isoterma de Langmuir es muy simple y la más empleada para modelizar el fenómeno de adsorción monocapa. Es importante dejar claro que para derivar las ecuaciones de las isotermas es necesario realizar ciertas suposiciones:

- La superficie catalítica es uniforme, con sitios activos equivalentes.
- Únicamente se adsorbe una molécula en cada centro activo
- El fenómeno de adsorción en un sitio activo es independiente del sitio activo vecino
- La superficie es homogénea energéticamente, sin adsorciones preferenciales en determinados sitios activos
- La adsorción de una molécula en un centro activo depende de la molécula de adsorbato y el sitio vacío, mientras que la desorción simplemente depende de la cantidad de adsorbato en la superficie activa

La **etapa 4: reacción** en la superficie del catalizador, es de especial importancia en catálisis heterogénea, por lo que a continuación se explicarán las formas en las que esta puede ocurrir:

- Sitio único: cuando en la reacción únicamente interviene un centro activo de la superficie del catalizador donde la molécula está adsorbida.
- Sitio dual: en la reacción interviene más de un centro activo, de forma que la molécula reactiva puede estar adsorbida en ambos, o puede reaccionar con otra molécula adsorbida en otro centro activo.
  En ocasiones estos mecanismos de un único sitio activo y dual pueden encontrarse referidos como mecanismos cinéticos de Langmuir-Hinshelwood.
- Eley-Rideal: se trata de un mecanismo en el que la reacción tiene lugar entre una molécula adsorbida y otra en fase fluida que no se ha adsorbido en la superficie del catalizador.

6.5. Modelo cinético

Los modelos cinéticos para explicar la catálisis heterogénea generalmente siguen una metodología basada en la aproximación de Langmuir-Hinshelwood. Este nombre se debe a las ideas propuestas por Hinshelwood basadas en los principios de adsorción de Langmuir

explicados anteriormente. Este método fue popularizado por Hougen-Watson, por lo que en la literatura es usual que se incluyen también sus nombres. En este trabajo será referida como el modelo LHHW: Langmuir-Hinshelwood-Hougen-Watson.

Para poder deducir las leyes de velocidad a partir del modelo LHHW es necesario considerar que las etapas de transferencia de materia no suponen una limitación en la velocidad reactiva global, por ello las etapas de difusión serán despreciadas.

Para la aplicación del modelo, primero se asume la existencia de una secuencia de etapas de reacción, en las que es necesario decidir entre las distintas opciones de adsorción (molecular, disociativa) y reacción (sitio único, dual o Eley-Rideal). El siguiente paso es definir las leyes de velocidad para cada una de las etapas individuales, asumiendo todas como reversibles. En estado estacionario, las velocidades de reacción de estas etapas reactivas (adsorción, AD; reacción en superficie, S y desorción, D) son iguales, de forma que:

$$-r' = r_{AD} = r_S = r_D \qquad [14]$$

Sin embargo, existe una etapa de reacción que es particularmente lenta en comparación con las demás. Esta etapa se denomina etapa limitante o controlante. El siguiente paso del método es elegir la etapa controlante de la reacción, de forma que el resto de etapas se asumen en equilibrio. El procedimiento del modelo se ilustra en la Figura 6.3.

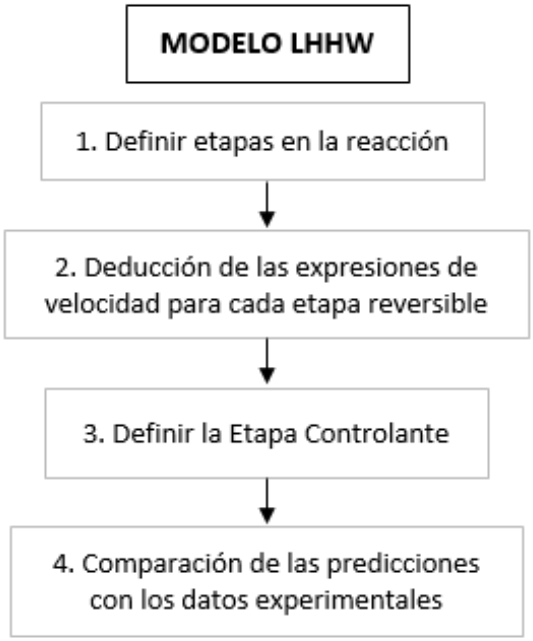


Figura 6.2 Procedimiento del modelo LHHW. Fuente: Elaboración propia adaptado de [8]

En el caso de la oligomerización de olefinas, una olefina debe adsorberse en la superficie del catalizador y formar una especie activa, en este caso un ión carbonio dispuesto a reaccionar. Según la bibliografía, la reacción de oligomerización de olefinas puede seguir dos vías clásicas de mecanismo reactivo: el mecanismo de reacción bimolecular de Langmuir-Hinshelwood o el mecanismo Eley-Rideal [10].

Acorde al formalismo de Langmuir-Hinshelwood, una especie situada en el centro activo, consideremos un monómero (M), reacciona con otro monómero adsorbido en un centro activo

vecino para formar su dímero (D), que se desorbe de la superficie catalítica y libera dos sitios activos para que puedan ser ocupados por otra molécula. El mecanismo se muestra a continuación:

$$M + \theta_v \leftrightarrow \theta_A\ (ads) \quad [15]$$

$$\theta_M + \theta_M \leftrightarrow \theta_D + \theta_v \quad [16]$$

$$\theta_D \leftrightarrow D + \theta_v\ (des) \quad [17]$$

La otra vía de reacción catalítica sigue el formalismo de Eley-Rideal, según el que una especie situada en un centro activo de la superficie del catalizador reacciona con otra molécula que se encuentra en la fase fluida, no en la superficie del catalizador, y cuando el producto, en este caso consideremos el dímero, se desorbe, únicamente un sitio activo queda libre. El mecanismo se presenta a continuación:

$$M + \theta_v \leftrightarrow \theta_A\ (ads) \quad [18]$$

$$\theta_M + M \leftrightarrow \theta_D \quad [19]$$

$$\theta_D \leftrightarrow D + \theta_v\ (des) \quad [20]$$

Siguiendo el estudio cinético desarrollado por Tiako Ngandjui et al., se observaba que para diferentes olefinas reactivas existía una dependencia lineal entre las velocidades de reacción iniciales y concentración de cada reactivo. La evolución lineal de estos parámetros en el experimento correspondía a reacciones de primer orden sobre los centros activos de la sílica-alúmina. Sacando conclusiones, los órdenes de reacción obtenidos al comienzo y a medida que las olefinas se iban consumiendo son consistentes con un patrón reactivo Eley-Rideal para el caso de dimerización de un monómero en la que un sitio activo adsorbe una olefina.

Corroborando el mecanismo con diferentes estudios, también se obtienen los mismos resultados. El estudio llevado a cabo por Jeffrey C. Gee [9] trataba acerca de la dimerización de olefinas lineales de corte C8 a C16 sobre un catalizador de resina ácida, diferente al Sílica-Alúmino en estudio pero del cual se puede información. En este se muestra que para concentraciones de olefinas más altas, la reacción de dimerización es de orden 1, con un aumento progresivo de este a medida que la concentración inicial de olefinas va disminuyendo. Se trata del mismo patrón observado en el estudio de Tiako Ngandjui et al.

Este efecto es esperado cuando la superficie del catalizador cubierta va disminuyendo en un sistema Eley-Rideal. Cuando la concentración de olefina es más alta, esto garantiza que la fracción de sitios activos cubiertos sea aparentemente alta, y las reacciones de dimerización sean de primer orden, con relación directa entre concentración y velocidad reactiva. A medida que la concentración baja, la fracción cubierta será menor, y el orden de reacción se convertirá en segundo orden para la olefina.

Referenciando a un tercer estudio llevado a cabo por Peratello S. et al. [10] sobre la oligomerización de olefinas de corte propileno sobre un catalizador de sílica-alúmina amorfa (MSA), los resultados también se adecúan a lo comentado anteriormente. El mecanismo reactivo modelado coincide con Eley-Rideal al observar un incremento sustancial en la velocidad de reacción y conversión en función de la concentración inicial de propileno.

Puede concluirse que, considerando que la concentración de olefinas será suficiente para saturar los centros activos del catalizador durante toda la etapa reactiva, el sistema catalítico

sigue un modelo de adsorción unimolecular Eley-Rideal para las reacciones de oligomerización. Estas reacciones de oligomerización incluyen dimerización, trimerización y tetramerización, según lo explicado en al apartado *Reacciones* de este anexo.

6.6. Secuencia reactiva

En la secuencia reactiva del proceso de oligomerización, el primer paso comienza con una molécula de monómero (sea cis o trans-2-buteno) que se activa al adsorberse en un centro activo de catalizador. La molécula de monómero adsorbida, según lo concluido para un mecanismo Eley-Rideal, reacciona con otra molécula de monómero que se encuentra en la fase fluida formando un dímero. El dímero tiene dos opciones: desorberse de la superficie del catalizador y convertirse en una molécula libre, o reaccionar con otra molécula de la fase fluida. En caso de que dicha molécula sea un monómero, dará lugar a un trímero, y si se trata de un dímero, se formará un tetrámero.

La reacción entre dos moléculas adsorbidas en sitios activos vecinos es posible, siguiendo un mecanismo bimolecular LH, pero según lo explicado anteriormente, trabajando con concentraciones suficientemente altas para cubrir la superficie catalítica de forma efectiva se ajustan mejor a un mecanismo de adsorción unimolecular. En este punto, también se podría plantear la posibilidad de que tres moléculas adsorbidas de monómero reaccionen formando un trímero, o incluso cuatro para formar un tetrámero, pero este mecanismo hipotético carece de sentido considerarlo desde un punto de vista probabilístico.

En la explicación del mecanismo reactivo de la trimerización y tetramerización es necesario aclarar algunas cosas ya que existen diferentes opciones.

Para la formación del trímero, existen dos posibilidades: un monómero adsorbido reacciona con un dímero en fase fluida, o bien un dímero adsorbido reacciona con un monómero en fase fluida. Ambas opciones son viables, y pese a que la primera es más favorable, para el desarrollo de las ecuaciones cinéticas se tendrán en cuenta ambas posibilidades.

Para la reacción del tetrámero, también existen varias vías de formación: un dímero adsorbido reacciona con otro dímero en fase fluida, o bien un trímero adsorbido reacciona con un monómero en fase fluida. En este caso, la última opción se despreciará ya que la cantidad de trímeros adsorbidos es muy baja en relación a la cantidad de dímeros.

Las posibilidades de reacciones de oligomerización entre moléculas siguiendo un modelo de reacción superficial Eley-Rideal se muestran en la Figura 6.4 para una mejor visión de lo que puede ocurrir sobre la superficie catalítica (M representa el monómero, D el dímero, T trímero y TT el tetrámero).

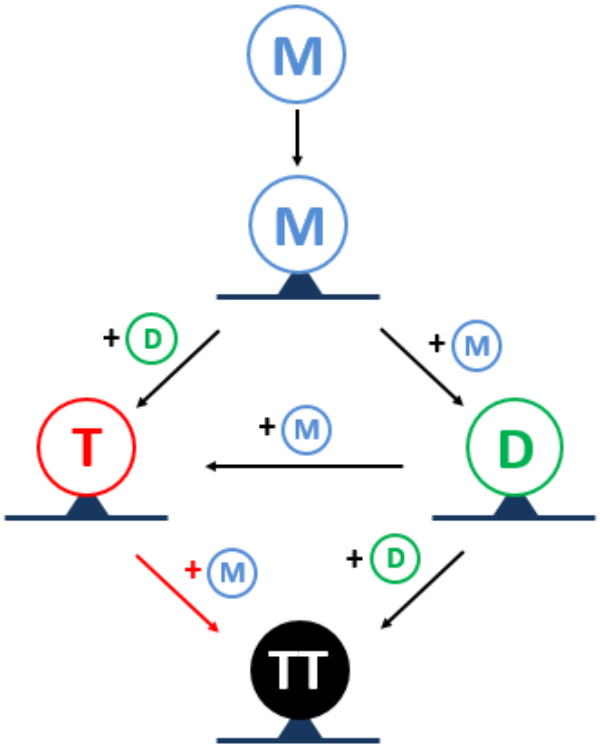


Figura 6.3 Mecanismo reactivo de oligomerización (Eley-Rideal) sobre centros activos. Fuente: Elaboración propia

6.7. Desarrollo de ecuaciones cinéticas

Siguiendo la aproximación de LHHW, para la explicación del mecanismo se considerará como etapa limitante las reacciones entre una olefina adsorbida en la superficie catalítica y una olefina en la fase fluida (Eley-Rideal). El mecanismo de reacción catalítica considerado se presenta en la Tabla 6.2.

Tabla 6.1 Etapas de las reacciones catalíticas de oligomerización según modelo LHHW. Fuente: Elaboración propia

Etapa	Reacción	Velocidad
Adsorción	$M + \theta_v \overset{k_M}{\leftrightarrow} \theta_M$	$k_M C_M \theta_v - k_{-M} \theta_M$
Reacción	$\theta_M + M \overset{k_1}{\rightarrow} \theta_D$	Etapa controlante
	$\theta_M + D \overset{k_2}{\rightarrow} \theta_T$	Etapa controlante
	$\theta_D + M \overset{k_2}{\rightarrow} \theta_T$	Etapa controlante
	$\theta_D + D \overset{k_3}{\rightarrow} \theta_{TT}$	Etapa controlante
Desorción	$\theta_D \overset{k_{-D}}{\leftrightarrow} D + \theta_v$	$k_{-D} \theta_D - k_D C_D \theta_v$
	$\theta_T \overset{k_{-T}}{\leftrightarrow} T + \theta_v$	$k_{-T} \theta_T - k_T C_T \theta_v$
	$\theta_{TT} \overset{k_{-TT}}{\leftrightarrow} TT + \theta_v$	$k_{-TT} \theta_{TT} - k_{TT} C_{TT} \theta_v$

Las constantes k_i y k_{-i} corresponden a constantes cinéticas de adsorción y desorción, siendo i cualquier especie.

En la Tabla 6.2 puede observarse que, acorde a lo comentado anteriormente, se están considerando dos vías posibles para la producción del trímero. Esto afectará en la expresión de velocidad posteriormente.

Las etapas de reacción superficial son consideradas etapas determinantes/limitantes (*Rate Determining Step)*. Las etapas de adsorción y desorción del presente estudio se consideran suficientemente rápidas para poder aplicar la teoría de cuasi-equilibrio. En el equilibrio la velocidad de reacción es cero, por lo que igualando a cero las expresiones de velocidad para estas etapas, se obtienen las siguientes expresiones[1]:

$$\theta_M = b_M C_M \theta_v \quad [22]$$

$$\theta_D = b_D C_D \theta_v \quad [23]$$

$$\theta_T = b_T C_T \theta_v \quad [24]$$

$$\theta_{TT} = b_{TT} C_{TT} \theta_v \quad [25]$$

Realizando un balance total de centros activos en la superficie del catalizador teniendo en cuenta que todas las especies pueden encontrarse adsorbidas sobre esta:

$$1 = \theta_v + \theta_M + \theta_D + \theta_T + \theta_{TT} \quad [26]$$

Sustituyendo las expresiones obtenidas de la condición de equilibrio en etapas de adsorción sobre el balance total de centros activos y desarrollando:

$$\theta_v = \frac{1}{1 + b_M C_M + b_D C_D + b_T C_T + b_{TT} C_{TT}} \quad [27]$$

Desarrollando las expresiones de velocidad para reacciones superficiales en base los modelos LHHW, se obtienen las siguientes leyes que dictarán los resultados obtenidos en el diseño riguroso del reactor:

$$r_1 = k_1 \frac{b_M C_M^2}{1 + b_M C_M + b_D C_D + b_T C_T + b_{TT} C_{TT}} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \quad [28]$$

$$r_2 = k_2 \frac{(b_M + b_D) C_M C_D}{1 + b_M C_M + b_D C_D + b_T C_T + b_{TT} C_{TT}} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \quad [29]$$

$$r_3 = k_3 \frac{b_D C_D^2}{1 + b_M C_M + b_D C_D + b_T C_T + b_{TT} C_{TT}} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \quad [30]$$

La mezcla dentro del reactor se encuentra en todo momento en fase líquida, por lo que la modelización de las ecuaciones se hace en función de la concentración, que debe expresarse en

[1] Recuérdese que b_i representaba las constantes de equilibrio de adsorción

(mol/L). En caso de ser fase gaseosa la variable más adecuada para las ecuaciones sería la presión parcial de cada componente.

6.7.1. Parámetros del modelo

El modelo LHHW desarrollado para las reacciones de oligomerización consta de 10 parámetros: 3 constantes cinéticas, una para cada reacción, a las que debemos sumar las energías de activación correspondientes y 4 constantes de equilibrio de adsorción. Estas ecuaciones podrían ser encaradas con esta cantidad de parámetros. Sin embargo, siguiendo la misma línea desarrollada por L. M. Tiako Ngandjui et al. las ecuaciones pueden ser simplificadas de forma justificada, según lo que se comentará a continuación.

La mezcla reactiva se encuentra en fase líquida en todo momento, de forma que prácticamente toda la superficie del catalizador se encontrará cubierta por moléculas reactivas. Esto permite despreciar el término 1 del denominador en comparación con el resto de términos [7].

Por otro lado, la cantidad de tetrámeros en la corriente producto es muy baja en comparación con la cantidad de trímeros. Este dato permite englobar de forma razonable a todos los oligómeros más pesados que el dímero con el mismo coeficiente de adsorción. Las ecuaciones se simplifican, denominando **P a la mezcla de trímeros y tetrámeros**. Las leyes de velocidad quedan simplificadas de la siguiente forma:

$$r_1 = k_1 \frac{b_M C_M^2}{b_M C_M + b_D C_D + b_P C_P} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \qquad [31]$$

$$r_2 = k_2 \frac{(b_M + b_D) C_M C_D}{b_M C_M + b_D C_D + b_P C_P} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \qquad [32]$$

$$r_3 = k_3 \frac{b_D C_D^2}{b_M C_M + b_D C_D + b_P C_P} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \qquad [33]$$

6.7.1.1. Parámetros cinéticos

Las constantes cinéticas k_1, k_2 y k_3 se han obtenido del estudio cinético desarrollado L. M. Tiako Ngandjui et al. para reacciones de oligomerización de n-butenos. El estudio no ofrece los valores de las constantes cinéticas según un arreglo de Arrhenius, pero son fácilmente extrapolables utilizando las gráficas y energías de activación que sí proporciona. Los parámetros cinéticos se proporcionan a continuación en la Tabla 6.3.

Tabla 6.2 Parámetros cinéticos de las reacciones de oligomerización. Fuente: [7]

Reacción	Factor preexponencial, Ao (L/kg_{cat} h)	Energía de activación, E_a (J/mol K)	Constante cinética, k (mol/kg_{cat} h)
(1) Dimerización	5780057,7	52600	$k_1 = 5{,}78 \cdot 10^6 \, exp^{\left(-\frac{52600}{R \cdot \mathrm{T}}\right)}$
(2) Trimerización	1988062,6	53000	$k_2 = 1{,}99 \cdot 10^6 \, exp^{\left(-\frac{53000}{R \cdot \mathrm{T}}\right)}$
(3) Tetramerización	410384,1	53000	$k_3 = 4{,}1 \cdot 10^5 \, exp^{\left(-\frac{53000}{R \cdot \mathrm{T}}\right)}$

La temperatura en la ecuación debe estar en grados Kelvin (K).

Puede observarse que el factor preexponencial, que guarda relación con la frecuencia de colisiones de las moléculas que intervienen en la reacción, desciende a medida que aumenta el peso molecular del producto:

$$A_{0_{dimerización}} > A_{0_{trimerización}} > A_{0_{tetramerización}} \quad [34]$$

Esto es razonable ya que se explica directamente con la cantidad de moléculas reactivas en cada reacción. Habrá más probabilidades de colisión entre monómeros que entre dímeros, simplemente por la concentración de cada uno.

6.7.1.2. Parámetros de adsorción

Los parámetros de adsorción proporcionados por el estudio no se ofrecen como valores directos, sino como ratios entre los coeficientes de equilibrio de adsorción de los productos frente al monómero. Los ratios se presentan en la Tabla 6.4.

Tabla 6.3 Ratios de adsorción de los compuestos de las reacciones. Fuente: [7]

Ratios de adsorción	Valor
$b_{DÍMERO}/b_{MONÓMERO}$	1,1
$b_P/b_{MONÓMERO}$	20

Estos ratios de adsorción corresponden a experimentos realizados a una temperatura de 177°C (450 K). Puesto que la operación en el reactor ocurre en un rango entre [redacted] aproximadamente, la diferencia de temperaturas no es muy grande y se utilizarán los valores proporcionados por el estudio. Además, la dependencia de los parámetros de equilibrio con la temperatura en el rango de operación no es significativa, por lo que ser consideram constantes.

6.7.2. Leyes de velocidad

Las expresiones matemáticas que rigen las leyes de velocidad para cada reacción, después de sustituir los parámetros cinéticos y de adsorción vienen dadas por las ecuaciones 35, 36 y 37.

$$r_1 = 5{,}78 \cdot 10^6 exp^{\left(-\frac{52600}{R \cdot \mathrm{T}}\right)} \frac{C_M^2}{C_M + 1{,}1\ C_D + 20\ (C_T + C_{TT})} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \qquad [35]$$

$$r_2 = 1{,}99 \cdot 10^6 exp^{\left(-\frac{53000}{R \cdot \mathrm{T}}\right)} \frac{2{,}1\ C_M\ C_D}{C_M + 1{,}1 C_D + 20\ (C_T + C_{TT})} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \qquad [36]$$

$$r_3 = 4{,}10 \cdot 10^5 exp^{\left(-\frac{53000}{R \cdot \mathrm{T}}\right)} \frac{1{,}1 C_D^2}{C_M + 1{,}1\ C_D + 20\ (C_T + C_{TT})} \quad \left[\frac{mol}{kg_{cat} h}\right] \qquad [37]$$

Como se ha mencionado, estas leyes cinéticas son el resultado de diversas suposiciones durante el desarrollo del modelo. Es importante aclarar que el estudio a partir del cual se han desarrollado esta expresiones se ha realizado utilizando un catalizador de silica-alúmina fresco. Para el alcance de este trabajo, el uso de estas leyes de velocidad para el diseño del reactor puede ser aceptable, pero para su aplicación industrial como la que concierne en sí al proyecto tutorizado por Repsol, es necesario diseñar las expresiones teniendo en cuenta la desactivación gradual del catalizador, que a lo largo del ciclo de operación comenzaría a presentar deposición de coque sobre la superficie por las reacciones de hidrocarburos a alta temperatura.

También cabe mencionar que, para la implantación del proceso en la refinería de A Coruña, son necesarios dos reactores: uno para operación y otro para regeneración del catalizador a alta temperatura, de forma que se opere en continuo sin tener que perder capacidad productiva.

7. Diseño del reactor

Según lo concluido en el apartado *Modo de operación*, el reactor R-101 se trata de un reactor catalítico de lecho fijo con flujo axial que opera de forma adiabática. La geometría más común de los reactores en general es cilíndrica, e introducir la alimentación por la parte superior provoca que tanto flujo como gravedad le proporcionen mayor estabilidad al catalizador dentro del reactor y el lecho permanezca completamente fijo [11].

7.1. Modelos matemáticos

Para el diseño de reactores de lecho fijo, existen dos modelos que describen matemáticamente el comportamiento y evolución de las reacciones dentro del equipo. Los dos métodos son el modelo unidimensional y bidimensional. El segundo es más riguroso que el primero, ya que considera los gradientes radiales de materia y calor con ecuaciones diferenciales complejas, pero los resultados obtenidos mediante el modelo unidimensional también llevan a obtener buenos resultados. Al ser el más utilizado, sencillo y práctico, se aplicará el modelo unidimensional para calcular los perfiles de concentración y temperatura frente a la masa de catalizador, así como conversiones, selectividades y demás datos interesantes que definan lo que ocurre dentro del reactor. Este modelo unidimensional adiabático se considera que puede ser una buena representación del comportamiento real del reactor.

El modelo unidimensional desprecia los perfiles radiales centrándose en un perfil plano de velocidad a lo largo de todo el perfil axial del reactor. El modelado mediante este método asume flujo tapón, con evolución de las concentraciones, flujos molares y temperatura solo a lo largo del perfil axial. Además, el catalizador se encuentra uniformemente distribuido dentro del

reactor, con la misma velocidad lineal para cada elemento diferencial axial. En consecuencia de esto, los tiempos de residencia para los elementos diferenciales de volumen dentro del mismo tapón será el mismo. [11]

7.2. Balances de materia

Las ecuaciones de diseño de reactores de lecho empacado resultan muy similares a las utilizadas para un reactor de flujo pistón, con la diferencia de que para reactores catalíticos la base de diseño es el peso de catalizador y no el volumen. La determinación del volumen en este caso se realiza sencillamente dividiendo el peso del catalizador por la densidad del lecho empacado.

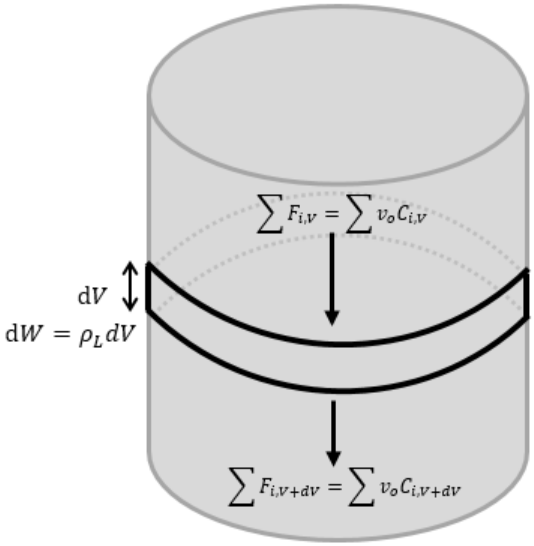


Figura 7.1 Esquema elemento diferencial de volumen dV. Fuente: Elaboración propia adaptado de [1]

El balance de materia para un reactante i en el elemento diferencial de volumen, dV, de la Figura 7.1, en estado estacionario está expresado por la ecuación 38 [1].

$$F_i - (F_i + dF_i) + G_i = 0 \quad \rightarrow \quad dF_i = G_i \qquad [38]$$

El cambio de caudal molar de la sustancia i en el elemento de volumen diferencial es igual al caudal de generación de i (G_i). Como puede verse en la *Ilustración 7*, el caudal molar puede expresarse en función del caudal volumétrico (v_o) y la concentración de la sustancia i (C_i). En este momento debe recordarse que el modelo unidimensional considera uniforme la composición y temperatura en cada elemento diferencial, por lo que la velocidad de generación de i por unidad de masa de catalizador también es uniforme.

$$dF_i = d(v_0 C_i) \qquad [39]$$

Por otro lado, el término generación de una sustancia i está directamente relacionado con la velocidad de reacción de la sustancia. Como se ha dicho anteriormente, la base de cálculo para un reactor de lecho empacado es la masa del catalizador. La expresión que relaciona estos términos es la siguiente:

$$G = r_i \cdot dW \qquad [40]$$

En los casos más simples cuando existe una única reacción, la resolución es directa y puede realizarse de forma analítica. Sin embargo, cuando ocurren varias reacciones simultáneamente, es recomendable el planteamiento de los balances de materia diferenciales, cuidando las

relaciones estequiométricas. Combinando las ecuaciones 38. 39 y 40 el balance molar diferencial para un determinado compuesto se expresaría de la forma:

$$\frac{dF_i}{dW} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} v_{ij} r_j \quad [41]$$

Donde i hace referencia a las n especies que participan en las j reacciones químicas.

Al tratarse de una mezcla reactiva en fase líquida, es usual realizar el balance molar diferencial con las concentraciones. Adaptando la ecuación 41 en función de la concentración, caudal volumétrico y cuidando la estequiometría de las reacciones, los balances molares diferenciales para cada compuesto involucrado en el proceso reactivo se expresan con las ecuaciones 42, 43 44 y 45.

$$\frac{dC_M}{dW} = \frac{-2\,r_1 - r_2}{v_0} \quad [42]$$

$$\frac{dC_D}{dW} = \frac{r_1 - r_2 + 2\,r_{.3}}{v_0} \quad [43]$$

$$\frac{dC_T}{dW} = \frac{r_2}{v_0} \quad [44]$$

$$\frac{dC_{TT}}{dW} = \frac{r_{3.}}{v_0} \quad [45]$$

El signo negativo en las velocidades de reacción indica que el compuesto se consume, mientras que uno positivo indica generación de producto. Como convención, se utilizará la letra W para referirse al peso de catalizador.

Al tratarse de una mezcla reactiva en fase líquida, se utilizan las concentraciones para realizar el balance molar diferencial. La lectura de estas ecuaciones debe realizarse de forma que se entienda la evolución de la concentración de cada especie a medida que aumenta el peso del catalizador, es decir, a medida que se avanza en la longitud axial del reactor.

La dificultad para resolver estas expresiones versa en el cálculo de las velocidades de reacción puntuales, para lo que será necesario utilizar algún software de cálculo matemático. En este caso, el software matemático que se utilizará para la resolución simultánea de las ecuaciones diferenciales será Matlab.

7.3. Balance de energía

En el momento de considerar los efectos térmicos asociados al reactor químico, es necesario aclarar que únicamente existe un balance de energía independiente. No importa la cantidad de reacciones que ocurran, el tipo de reactor o el modo de operación. La mezcla reactiva dentro del reactor debe ser considerada como una unidad de volumen con un estado térmico único. Al tratarse en este caso de un reactor que opera de forma adiabática en el que las reacciones son exotérmicas, el concepto del balance debe entenderse de forma que, a medida que las reacciones generan calor, la masa reactiva aumentará su temperatura de manera uniforme. [11]

Los reactores que operan de manera continua son sistemas abiertos en los que existen flujos de materia que atraviesan sus límites. El balance de energía para un sistema abierto en el que se produce intercambio de energía a medida que el flujo atraviesa el sistema se basa en la primera

Ley de la Termodinámica. Siguiendo este principio universal según el que la energía no se crea ni se destruye, el calor cedido por el sistema será igual al trabajo recibido por el mismo, y viceversa. La forma de expresar este principio matemáticamente a un sistema abierto se presenta de la siguiente forma [8]:

$$\frac{d\hat{\mathrm{E}}_{sis}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum F_{i,ent}E_{i,ent} - \sum F_{i,sal}E_{i,sal} \quad \left[\frac{J}{s}\right] \qquad [46]$$

El término $\frac{d\hat{\mathrm{E}}_{sis}}{dt}$ corresponde al término de acumulación de energía dentro de los límites del sistema. El reactor R-101 opera en estado estacionario, por lo que este término se anula.

$$\frac{d\hat{\mathrm{E}}_{sis}}{dt} = 0 \qquad [47]$$

El término $\dot{Q}$ representa la tasa de intercambio de energía desde los alrededores hacia el sistema. La operación adiabática determina que este intercambio de energía entre reactor y alrededores también es nula. ($\dot{Q} = 0$)

La tasa de trabajo realizado por el sistema sobre los alrededores corresponde al término $\dot{W}$. Este término se separa en dos entes principales: por un lado el conocido como trabajo de eje W_s , que es el trabajo generado por un agitador en un CSTR o una turbina en un PFR; y por otro lado el término W, el flujo de trabajo, que es el trabajo necesario para permitir que la masa fluya entre los límites del sistema. Eliminando el trabajo de eje por la ausencia de equipos externos, el flujo de trabajo es el único término que tendrá presencia en la ecuación.

Los términos $\sum F_{i,ent}E_{i,ent}$ y $\sum F_{i,sal}E_{i,sal}$ se corresponden a la tasa de energía aportada y eliminada por los flujos de entrada y salida, respectivamente. ´

Como se puede observar, la convención de signos se respeta de forma que el signo positivo indica energía *aportada* al sistema ($alrededores \rightarrow sistema$), y el signo negativo representa energía *eliminada* del sistema ($sistema \rightarrow alrededores$).

Para el desarrollo de los términos energéticos asociados a los flujos de materia en reactores químicos, los términos de energía cinética, potencial y otras formas de energía (eléctrica, magnética…) son despreciables en comparación con la entalpía, transferencia de calor y trabajo, por lo que se omiten. En consecuencia, el término energético E_i es igual a la energía interna del sistema, U_i.

Desarrollando los términos de flujo de trabajo W y el término entálpico[2] en el balance de energía, la expresión matemática que rige el comportamiento energético del reactor adiabático R-101 queda de la siguiente forma:

$$\sum F_{i,ent}H_{i,ent} - \sum F_{i,sal}H_{i,sal} = 0 \qquad [48]$$

El comportamiento de un reactor de lecho empacado de flujo axial se asemeja al comportamiento de un reactor de flujo pistón con una diferente base de cálculo. Así, de la misma forma que para los balances de materia, la expresión adecuada para el balance energético debe realizarse para los diferentes elementos diferenciales de volumen para cada sección transversal o tapón, según lo ilustrado en la Figura 7.2, es la siguiente:

$$\sum (F_i H_i)_v - \sum (F_i H_i)_{v+\Delta v} = 0 \qquad [49]$$

[2] $H = U + PV$

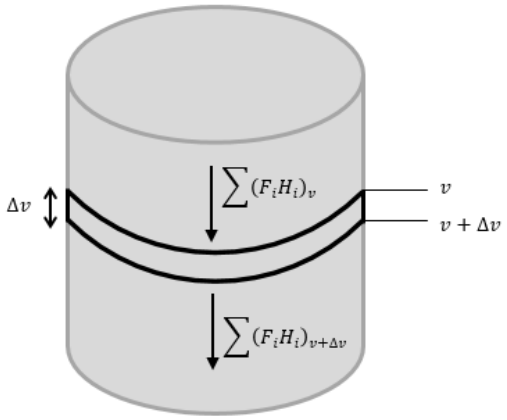


Figura 7.2 Elemento diferencial de un reactor tubular. Fuente: Elaboración propia adaptado de [8]

Diferenciando la Ecuación 48 respecto a un elemento de volumen diferencial cuando el incremento Δv tiene a cero, la expresión obtenida es:

$$-\sum \frac{dF_i}{dV} \cdot H_i - \sum F_i \cdot \frac{dH_i}{dV} = 0 \qquad [50]$$

El primer término corresponde a los balances diferenciales molares ya comentados, en los que se deberán respetar las relaciones estequiométricas de los compuestos para cada reacción.

$$\frac{dF_i}{dV} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} v_{ij} r_j \qquad [51]$$

El segundo término se obtiene diferenciando la entalpía[3] respecto al volumen.

$$\frac{dH_i}{dV} = c_{p,i} \cdot \frac{dT}{dV} \qquad [52]$$

Sustituyendo las expresiones en el balance de energía de la Ecuación 46 y desarrollando matemáticamente las entalpías de cada componente, en la ecuación aparecen las entalpías de reacción. Además, la base de cálculo en peso de catalizador se establece simplemente mediante $dW=\rho_B \cdot dV$.[4]La expresión matemática después de adecuarla para su propósito, que es analizar cómo evoluciona la temperatura a lo largo de todos los elementos diferenciales del reactor (en base al peso de catalizador dW), queda de la siguiente forma:

$$\frac{dT}{dW} = \frac{-\sum_{j=1}^{m} \Delta H_{Rj} \cdot r_j}{\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot \overline{C_p}} \qquad [53]$$

El denominador se entiende como la cantidad de energía que puede ser absorbida por la totalidad de la mezcla, en la que se incluyen las parafinas que actúan de sumidero de calor, las olefinas reactivas y las olefinas productos.

Esta expresión se corresponde con la ecuación de diseño para un reactor de lecho empacado que opera adiabáticamente. Se puede encontrar en diferentes fuentes bibliográficas (Scott.

[3] $H_i = H_i^0(T_R) + \int_{T_R}^{T} cp_i \, dT$

[4] ρ_B es la densidad del lecho catalítico. En este caso no se introduce en la ecuación por que los términos se anulan

Fogler, *Elements of Chemical Reaction Engineering* [8] o *Reactores químicos con Multirreacción*, de Fernando Tiscareño Lechuga [11]), pero en este caso se ha decidido partir desde la Primera Ley de la Termodinámica para una mejor comprensión de su uso.

El numerador de la ecuación de diseño se corresponde a la energía generada dentro del sistema por cada una de las reacciones químicas según el grado de avance en el que se encuentren. Es interesante aplicar el sentido común y darse cuenta del sentido de los signos. En este caso todas las reacciones químicas son exotérmicas, de forma que el numerador tendrá valor positivo, lo que se corresponde con un aumento de la temperatura a lo largo del reactor a medida que avance el grado de reacción. En caso de que las reacciones fuesen endotérmicas, la temperatura a lo largo del reactor debería disminuir, lo que se refleja con un numerador con valor negativo.

En este punto es importante aclarar que las entalpías de reacción se encuentran asociadas a la temperatura de reacción y no se calculan simplemente con las entalpías de reacción estándar. El cálculo de las entalpías de reacción a cualquier temperatura se calcula aplicando la ecuación 54 [12]:

$$\Delta H_{Rj}(T) = \Delta H_{Rj}(T_{ref}) + \sum_{i=1}^{n} v_i \cdot \int_{T_{ref}}^{T} C_p dT \qquad [54]$$

En la ecuación 54 el término de la derecha tiene en cuenta el calor intercambiado entre reactivos y productos desde la temperatura de reacción hasta la temperatura de referencia, es decir, el calor sensible.

Los valores de entalpía de reacción a la temperatura de referencia suelen estar tabulados para una temperatura de 25°C, y se calculan a partir de las entalpías de formación de cada sustancia involucrada en la reacción. En la Tabla 7.1 se muestran los calores de formación de cada sustancia reactiva.

Tabla 7.1 Calores de formación de los compuestos involucrados en las reacciones. Fuente: ASPEN

Sustancia	Calor de formación, ΔH_f^0 (J/mol)
Monómero[5]	-11180
Dímero	-92810
Trímero	-165500
Tetrámero	-248000

Teniendo en cuenta los coeficientes estequiométricos en las reacciones, se calculan las entalpías de reacción estándar de las reacciones según la expresión:

$$\Delta H_{Rj}^0 = \sum v_i \cdot \Delta H_{f,i}^0 \qquad [55]$$

Para los cálculos de los calores sensibles se utilizarán las aproximaciones polinómicas de los calores específicos de las sustancias reactivas que se explican en el Anexo III. Calores específicos.

En la Tabla 7.2 se presentan los efectos térmicos en el reactor debidos a las reacciones de oligomerización.

[5] Los monómeros son el cis y trans-2-buteno. Como el isómero trans se encuentra en mayor cantidad, se usarán sus propiedades

Tabla 7.2 Efectos térmicos de las reacciones de oligomerización. Fuente: Elaboración propia

Reacción	ΔH_R^0 (J/mol reactivo)	Calor sensible (Hasta $T_{reacción}$)	ΔH_R (J/mol reactivo)
(1) Dimerización	-35225,00	-3985,97	-39210,97
(2) Trimerización	-43986,67	-4341,44	-48328,1
(3) Tetramerización	-50820,00	-4458,98	-55278.98

Los calores sensibles de cada una de las reacciones se calcularon para la temperatura de reacción de [redacted]. Sin embargo, para el diseño riguroso utilizando Matlab, se tendrá en cuenta el incremento de temperatura a lo largo del reactor para los cálculos de los calores sensibles.

7.4. Resolución de las ecuaciones de diseño

El objetivo de este apartado es la resolución de las ecuaciones de diseño que rigen el comportamiento del reactor. Se trata de un sistema de 5 ecuaciones (4 balances de materia individuales y 1 balance de energía global) en formato diferencial, que serán resueltos de manera simultánea mediante el software matemático Matlab, ya que no tiene solución analítica.

Las ecuaciones de diseño se vuelven a mostrar a continuación:

Balances molares diferenciales para cada sustancia

$$\frac{dC_M}{dW} = \frac{-2\,r_1 - r_2}{v_0} \quad [42]$$

$$\frac{dC_D}{dW} = \frac{r_1 - r_2 + 2\,r_{.3}}{v_0} \quad [43]$$

$$\frac{dC_T}{dW} = \frac{r_2}{v_0} \quad [44]$$

$$\frac{dC_{TT}}{dW} = \frac{r_{3.}}{v_0} \quad [45]$$

Balance de energía

$$\frac{dT}{dW} = \frac{-(\Delta H_{R1} \cdot r_1 + \Delta H_{R2} \cdot r_2 + \Delta H_{R3} \cdot r_3)}{\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot \overline{C_p}} \quad [56]$$

7.4.1. Caso de diseño

La alimentación al reactor es un parámetro clave en el diseño de reactor. El caso de diseño estará basado en una alimentación al reactor de [redacted], lo que corresponde a una relación de reciclo de [redacted] según lo razonado en el Anexo I. Balances de materia y energía.

En la Tabla 7.3 se resumen las sustancias consideradas presentes en la entrada al reactor R-101. Como se puede ver los isómeros cis y trans-2-buteno han sido englobados dentro de los monómeros, ya que su reactividad es muy similar.

Tabla 7.3 Corriente de entrada al Reactor R-101. Fuente: Elaboración propia

Entrada Reactor		
Sustancia	**Flujo molar (kmol/h)**	**Flujo másico (kg/h)**
Propano	[redacted]	[redacted]
Isobutano	[redacted]	[redacted]
n-butano	[redacted]	[redacted]
n-Pentano	[redacted]	[redacted]
1-Buteno	[redacted]	[redacted]
Isobuteno	[redacted]	[redacted]
Monómeros	[redacted]	[redacted]
Dímeros	[redacted]	[redacted]
Trímeros	[redacted]	[redacted]
Tetrámeros	[redacted]	[redacted]
Total	[redacted]	[redacted]

Para el desarrollo del diseño se han tenido en cuenta las consideraciones explicadas en el apartado *Reacciones* de este Anexo. Según lo asumido, el isobuteno no se considera reactivo por ausencia de cinéticas, justificado al encontrarse en baja cantidad respecto al resto de olefinas ([redacted]).

También hay que tener en cuenta que la reacción de isomerización del 1-buteno ocurre de manera muy rápida según las fuentes de bibliografía, por lo que se considera que las reacciones ocurren previamente a la entrada al reactor. Los datos de conversión facilitados por Repsol para las reacciones de isomerización se presentan en la Tabla 7.4, acorde al Anexo I. Balances de materia y energía.

Tabla 7.4 Conversión de reacciones de isomerización de 1-Buteno. Fuente: Repsol

Información no disponible en la versión pública.

La conversión total de 1-Buteno a los isómeros cis y trans es del [redacted]. Esto provocará que la cantidad de monómeros al comienzo de la etapa reactiva sea mayor. En la Tabla 7.5 se muestra cómo afecta esta isomerización en la cantidad inicial de monómeros.

Tabla 7.5 Balance de materia para la reacción de isomerización del 1-Buteno. Fuente: Elaboración propia

Información no disponible en la versión pública.

El principal objetivo de la resolución del sistema de ecuaciones es calcular el peso de catalizador necesario para conseguir la conversión establecida. La fracción convertida de monómeros total para el diseño del reactor se calcula fácilmente mediante la siguiente fórmula:

$$X = \frac{F_{monómeros,0} - F_{monómeros,f}}{F_{monómeros,0}} \quad [57]$$

Donde el subíndice 0 representa la condición inicial, y f representa la condición final.

Los flujos molares de monómero al comienzo y al final de la etapa reactiva se recogen en la Tabla 7.6, de nuevo acorde a lo expuesto en el Anexo I. Balances de materia y energía.

Tabla 7.6 Flujos de materia al comienzo y final de la etapa reactiva. Fuente: Elaboración propia

Información no disponible en la versión pública.

A la hora de resolver las ecuaciones de diseño, los balances molares diferenciales se encuentran referidos a la concentración, por lo que es necesario definir el flujo volumétrico. Las corrientes de entrada y salida del reactor, debido a la exotermicidad de las reacciones, se encuentran a diferente temperatura, lo que acarrea una ligera variación de la densidad. A efectos prácticos, al tratarse de una mezcla que permanece en fase líquida durante toda la etapa reactiva, la densidad se puede asumir constante y ser aproximada a la media entre las densidades a la entrada y salida del reactor[6]. En la Tabla 7.7 se presentan los caudales másicos, volumétrico y la densidad considerada para el diseño.

Tabla 7.7 Propiedades y caudales considerados para el diseño del reactor R-101. Fuente: Elaboración propia

Información no disponible en la versión pública.

Por último, para comenzar con la programación en Matlab para calcular los perfiles de concentración, temperatura… a lo largo del reactor es necesario definir una serie de condiciones iniciales para proporcionarle un punto de partida al método iterativo. Las condiciones iniciales son las concentraciones iniciales de monómero, dímero, trímero y tetrámero a la entrada del reactor, y la temperatura de la corriente de entrada al equipo, que como ya se ha explicado en el apartado *Condiciones de operación* de este Anexo, será de [redacted]

Teniendo en cuenta el flujo molar de monómeros y el flujo volumétrico constante a lo largo de todo el reactor, en la Tabla 7.8 se muestran las concentraciones iniciales de compuestos reactivos, en unidades (mol/L) para adecuarse a las unidades de las constantes de velocidades de reacción, k_i (L/kg cat h).

Tabla 7.8 Concentraciones iniciales de compuestos de reacción. Fuente: Elaboración propia

Sustancia	Monómero	Dímero	Trímero	Tetrámero
Concentración inicial (mol/L)	1,3682	0	0	0

7.5. Resultados

Los resultados mostrados en este apartado se han calculado mediante la herramienta de software matemático Matlab, utilizando los códigos que se encuentran en el Anexo IV. Códigos implementados en Matlab.

En la Figura 7.3 se muestra la evolución de la conversión de los monómeros frente a la masa de catalizador.

[6] Densidades obtenidas mediante el simulador ASPEN

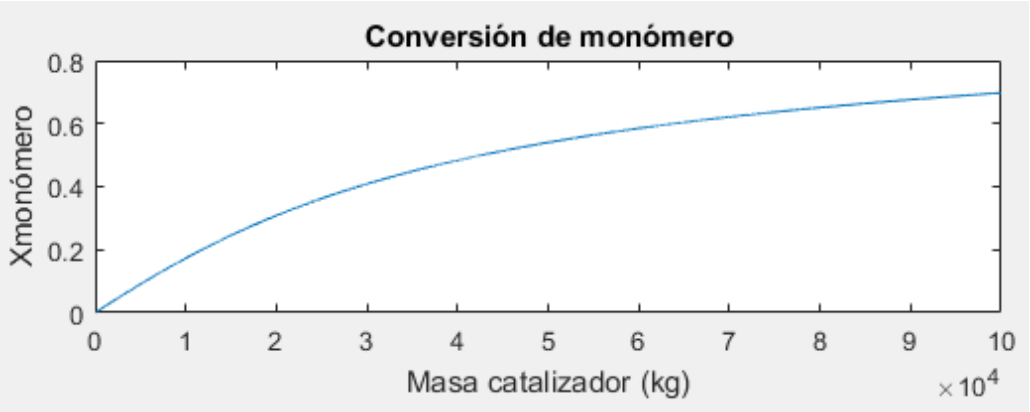


Figura 7.3 Conversión de n-butenos frente a masa de catalizador. Fuente: Matlab

Los datos calculados de peso de catalizador para diferentes conversiones se ofrecen en la Tabla 7.9. Están recogidas de las matrices numéricas generadas por Matlab en el rango de valores que se hayan introducido. En este caso se muestra la [redacted].

Tabla 7.9 Conversión vs Peso catalizador. Fuente: Matlab

Conversión	Peso catalizador (kg)
0	0
0,1	5540
0,2	11800
0,3	19300
0,4	29010
0,4495	35120
0,5	42850
0,6	63920
0,7	100000

Para la conversión establecida de [redacted] **EL PESO DE CATALIZADOR NECESARIO SON 35120 KG**. Los valores se resumen en la Tabla 7.10, así como el volumen del lecho para las diferentes densidades de catalizador SKRT según el método de carga del reactor[7].

Tabla 7.10 Resultados obtenidos: peso catalizador, volumen lecho. Fuente: Elaboración propia

Conversión (%)	
[redacted]	
Peso catalizador (kg)	
35120	
Densidad lecho (kg/m³)	
Sock loading	*Dense loading*
610	700
Volumen lecho (m³)	
57,57	50,17

[7] Estas densidades son referidas a los métodos de carga, por lo que la densidad está referida al lecho, no a la densidad de partícula.

Se puede observar que suponiendo una carga *sock* del catalizador el volumen necesario es mayor. Esto concuerda con lo comentado acerca de los métodos de carga en el apartado *Catalizador seleccionado*. El método de carga en *sock* tiene cierta tendencia a crear espacios vacíos, mientras que el método denso de carga otorga preferencia a la capacidad asumible por el equipo, por eso el volumen necesario es menor.

Una vez calculado el volumen del lecho, también es interesante calcular el tiempo de residencia de la mezcla dentro del reactor, dividiendo simplemente el caudal volumétrico promedio de la Tabla 7.7 por volumen del lecho, y calcular la velocidad espacial, definida como el número de volúmenes equivalentes al del reactor que se alimentan por unidad de tiempo. Al considerarse la densidad constante, el tiempo de residencia equivale al tiempo espacial, que es el inverso de la velocidad espacial. $t_r = \tau = \frac{V_{reactor}}{v_0}$

También se calcula la velocidad espacial, definida como el número de volúmenes equivalente al del reactor que se alimentan por unidad de tiempo. En este caso, se calcula la velocidad espacial horaria de líquido (LHSV) y por peso (WHSV).

$$LHSV = \frac{Caudal\ volumétrico\ de\ líquido}{Volumen\ reactor} = \frac{v_0}{V_{reactor}} \quad [57]$$

$$WHSV = \frac{Flujo\ másico}{Peso\ catalizador} = \frac{m_{entrada}}{W} \quad [58]$$

Los resultados obtenidos de tiempos de residencia de la mezcla en el interior del reactor se ofrecen en la Tabla 7.11. También se incluyen los datos facilitados por Repsol acerca de las velocidades espaciales de la mezcla *Raffinate* [redacted] para los reactores de la unidad de Platformado.

Contrastando estos valores con los facilitados por Repsol puede verse que se encuentran en un rango similar. Los reactores de la unidad de [redacted] son tres reactores, que operan dos en serie de menor tamaño en paralelo con uno de un tamaño equivalente a los otros dos juntos.

El volumen total de [redacted] al volumen obtenido para el Reactor R-101, por lo que en una primera observación la velocidad espacial también debería ser inferior. Sin embargo, el caudal másico de reciclo según lo explicado en el Anexo I. Balances de materia también es superior al de reciclo estudiado por Repsol, por lo que ambos factores se contrarrestan y la velocidad espacial se mantiene en un rango adecuado.

Tabla 7.11 Velocidad espacial y tiempo de residencia para el reactor R-101. Fuente: Elaboración propia

Información no disponible en la versión pública.

En la Tabla 7.12 se muestran las concentraciones de cada compuesto reactivo calculados por Matlab, con sus flujos molares relacionados con la conversión de monómeros.

Tabla 7.12 Concentraciones y flujos molares de las sustancias reactivas en función de la conversión. Fuente: Matlab

	Monómero		Dímero		Trímero		Tetrámero	
Conversión (%)	**C_M (mol/L)**	**Flujo molar (mol/h)**	**C_D (mol/L)**	**Flujo molar (mol/h)**	**C_T (mol/L)**	**Flujo molar (mol/h)**	**C_{TT} (mol/L)**	**Flujo molar (mol/h)**
[redacted]								

El perfil de concentraciones y flujos molares se ilustran en la Figura 7.4. La evolución es la misma ya que una gráfica está relacionada con la otra en función del flujo volumétrico que es constante.

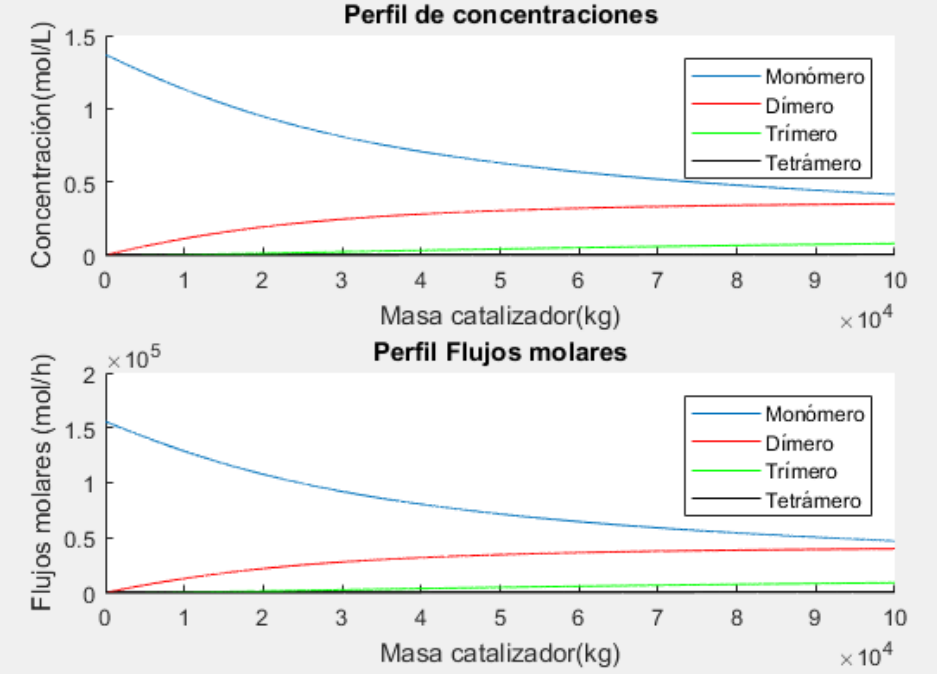


Figura 7.4 Perfil de concentraciones y flujos molares vs masa del catalizador. Fuente: Matlab

A partir de estos datos de concentración o flujos molares, también se han representado las selectividades de cada uno de los productos en la Figura 7.4, para así ser contrastadas con la bibliografía. Los datos calculados para las selectividades se muestran en la Tabla 7.13.

Tabla 7.13 Selectividades del monómero hacia cada producto. Fuente: Matlab

Información no disponible en la versión pública.

Acorde a los estudios realizados por L. M. TIako Ngandjui et al., para bajas y temperaturas inferiores a 170°C, los n-butenos reaccionan para formar su dímero con una selectividad cercana al 90%. Esto se ajusta a los datos calculados, que en el rango de conversión de 0 a 30% la selectividad de la reacción de dimerización es superior al [redacted]

Información no disponible en la versión pública.

Figura 7.5 Perfil de selectividades para cada reacción. Fuente: Matlab

Utilizando los valores proporcionados por Matlab en formato matricial de las concentraciones, también es interesante ver cómo evolucionan las velocidades puntuales de las reacciones a lo largo del reactor. Los valores calculados se ofrecen en la Tabla 7.14.

Tabla 7.14 Velocidades de reacción puntuales para diferentes conversiones. Fuente: Matlab

Conversión (%)	**Velocidades de reacción puntuales (mol/kg_{cat} h)**		
	r_1	**r_2**	**r_3**
[redacted]			

Se plasman gráficamente en la Figura 7.6 de manera que se pueda comparar además con la conversión de n-butenos.

Información no disponible en la versión pública.

Figura 7.6 Velocidades de reacción puntuales de cada reacción. Fuente: Elaboración propia a partir de Matlab

Como ilustra la gráfica, la velocidad de reacción predominante es la de dimerización. A medida que la mezcla avanza en el reactor, la velocidad de dimerización va disminuyendo, acorde al consumo de monómero. La velocidad de trimerización sigue un progreso creciente para un rango de conversión baja, que se corresponde con la generación del dímero también comienza a transformarse en trímeros, pero su velocidad de reacción se mantiene prácticamente cosntante para conversiones superiores al 25%. La velocidad de reacción de tetramerización es muy baja durante todo el proceso en comparación a las demás.

El perfil de temperatura a lo largo del reactor se ha calculado teniendo en cuenta el avance de las reacciones exotérmicas y la capacidad de absorción de energía de la mezcla. Los datos de temperatura y conversión se muestran en la Tabla 7.15.

Tabla 7.15 Perfil de temperatura a medida que avanza la conversión. Fuente: Matlab

Información no disponible en la versión pública.

La gráfica del perfil de temperaturas la ofrece la Figura 7.7.

Información no disponible en la versión pública.

Figura 7.7 Perfil de temperatura en el reactor R-101. Fuente: Matlab

El delta T en el reactor es un parámetro clave en el reactor R-101 que se controla mediante la introducción de parafinas inertes en la alimentación para que absorban parte del calor generado por las reacciones. La temperatura de salida calculada en el apartado *Balance de energía* del *Anexo X. Balances de materia y energía* era de [redacted]. La alimentación al reactor se encuentra [redacted], lo que supone un delta T de [redacted]

En este apartado de diseño, la temperatura de salida del reactor es de [redacted] (para la conversión dada de [redacted] En este caso el delta T es [redacted]. Esta diferencia se debe a que en el diseño no se ha considerado la reactividad de ciertas sustancias que se transforman de forma exotérmica (1-Buteno, isobuteno y 1-Eicoseno). Analizando las diferencias, la sustancia que más afecta a esta diferencia es el 1-Eicoseno. Se trata del oligómero de orden 5, el pentámero, que a pesar de producirse en muy baja cantidad, la reacción de pentamerización es la más exotérmica de todas, lo que conllevaría a un mayor delta T en la reacción.

7.6. Dimensionamiento del reactor

Para realizar el dimensionamiento del reactor se seleccionará el método de carga en *sock* con el volumen del lecho asociado por ser el método de carga menos estricto en la distribución de las partículas. Básicamente se esparcen de forma aleatoria, lo que provoca una distribución de partículas con mayor fracción hueca para que los compuestos reactivos puedan circular.

El volumen del lecho catalítico para este método de carga obtenido fueron [redacted]. Con este valor ya calculado y teniendo en cuenta la operación del equipo (reactor de lecho empacado en orientación vertical de geometría cilíndrica), el siguiente paso es establecer las dimensiones necesarias para el reactor.

El término de relación longitud/diámetro (L/D) es muy variable dependiendo del tipo y la finalidad del reactor, el rango típico para recipientes sometidos a presión interna se encuentra entre 2 y 5. Siguiendo recomendaciones bibliográficas, la altura del recipiente no es recomendable que exceda los 10 m. Por este motivo, se escoge un ratio L/D=3 considerado usualmente el óptimo [13].

Teniendo en cuenta la geometría cilíndrica del reactor vertical, debe diferenciarse el volumen del lecho del volumen del reactor. Usualmente la longitud del reactor se asume un 10% superior a la longitud del lecho, y se asume también 10% mayor el diámetro del reactor respecto al del lecho. De esta forma:

$$V_{lecho} = \pi \frac{d_{lecho}^2}{4} l_{lecho} \quad [59]$$

$$L_{reactor} = 1{,}1\ l_{lecho} \quad [60]$$

$$D_{reactor} = 1{,}1\ d_{lecho} \quad [61]$$

Resolviendo estas dos ecuaciones, se obtienen las dimensiones del lecho y las del reactor teniendo en cuenta los sobredimensionamientos pertinentes.

Tabla 7.16 Dimensiones del reactor R-101.

L/D	**3**
V_{lecho} (m^3)	57,57
L_{lecho} (m)	8,7
D_{lecho} (m)	2,9
$V_{reactor}$ (m^3)	76,6
$L_{reactor}$ (m)	9,6
$D_{reactor}$ (m)	3,2

7.7. Efecto de la forma de la partícula de catalizador

Información no disponible en la versión pública.

8. Diseño mecánico del Reactor R-101

El diseño en el sector de la ingeniería es un ámbito tremendamente vasto que ha ido evolucionando y refinándose a lo largo de los años para asegurar unas condiciones seguras y económicas en la fabricación de equipos, estructuras y materiales. Esto es el fruto del trabajo de múltiples asociaciones profesionales, grupos de comercio y compañías que se han dedicado al desarrollo normas y códigos en los que se recogen las mejores prácticas que garanticen estas condiciones.

Actualmente existen muchos estándares que impulsan el ejercicio seguro del diseño en ingeniería. Estas prácticas de diseño seguro no son de obligado cumplimiento ya que no está

estipulado dentro de ámbito legal, pero se trata de estándares de confianza fruto de la experiencia de profesionales a lo largo de los años que se encuentran generalmente aceptadas en la profesión de la ingeniería.

Entre los códigos y estándares de directa aplicación en diseño de procesos se distinguen asociaciones de tal calibre como el *American Institute of Chemical Engineers (AICHE)*, *American Petroleum Institute (API)¸ American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, *American Society for Testing Materias (ASTM*) o el *American National Standards Institute (ANSI)* [16].

En el diseño del Reactor R-101 se ha abordado en primer lugar el diseño riguroso de todo el mecanismo reactivo y dimensionamiento del equipo, así como caída de presión a lo largo del lecho catalítico. En esta segunda parte, se abordará el diseño mecánico del equipo donde se caracterizarán los diferentes componentes del reactor (cabezales, espesores, juntas…) así como la selección del material más adecuado para las condiciones a las que se somete.

El reactor R-101 es un recipiente sometido a una presión interna de [redacted]. El estándar de aplicación más extendido para recipientes a presión es el *ASME Boiler & Pressure Vessel Code* (Código Asme BPV), una de las instituciones por excelencia que se nombraba antes.

Según se encuentra definido en la Sección VIII, Div. 1 del Código ASME BPV (1968), un Recipiente a Presión es "cualquier contenedor cerrado capaz de almacenar un fluido a Presión Manométrica, sea esta interna o externa".

El reactor R-101 se trata de un recipiente que respeta todas las especificaciones de esta división del código para entrar en su ámbito de aplicación: diámetro interior, ancho altura y sección transversal mayores a 6 pulgadas (0,1524 m), con una presión de operación mayor a 15 psi (1,03 bar) y que no excede los 3000 psi (206,8 bar).

Las dimensiones establecidas para el reactor R-101 respetan las restricciones establecidas por el estándar (véase apartado 7.6 Dimensionamiento del reactor de este Anexo) y la presión de operación se encuentra dentro del rango, por lo que el equipo entra dentro del alcance de la norma y se clasifica como un recipiente a presión cilíndrico y vertical.

8.1. Condiciones de operación de diseño

Las condiciones de operación del reactor fueron comentadas en el apartado de este anexo *Condiciones de operación*. Para realizar el diseño, estas condiciones siempre se sobredimensionan teniendo en cuenta los factores de seguridad. En este apartado el objetivo es calcular las condiciones de operación de diseño teniendo en cuenta los pertinentes sobredimensionamientos establecidos por el código ASME.

La norma ASME dictamina que la temperatura de diseño debe ser 50 ºF (10°C) superior a la temperatura máxima de operación por cuestiones de seguridad relacionadas con las fluctuaciones en la resistencia del material por la temperatura.

La temperatura de reacción son [redacted]°C, sin embargo teniendo en cuenta el delta T en el reactor la temperatura máxima son [redacted] (Véase Anexo I. Balances de materia y energía). Por lo tanto, la temperatura de diseño será:

$$T_{diseño} = T_{operación\ max} + 10ºC = \text{[redacted]}$$

Esto coincide con los criterios establecidos por Stanley M. Walas (*Rules of thumb*) en su obra *Chemical Process Equipment Selection and Design*, que para las condiciones de diseño de recipientes recomienda [16]:

"La temperatura de diseño entre -20ºF (-30°C) y 650ºF (343°C) es 50ºF (10°C) sobre la presión de operación; márgenes mayores más seguros se utilizan fuera del rango de ese rango de temperatura".

Por otro lado, la presión de diseño establecida por el código ASME para recipientes sometidos a presión interna se sobredimensiona un 10% o 25 psi respecto a la presión manométrica máxima que se alcanza durante la operación en estado estacionario, el mayor valor.

La presión de operación normal son [redacted] en el reactor R-101, despreciando la caída de presión que es insignificante a lo largo del lecho (Véase apartado 7.8 Caída de presión en este anexo). En el código se especifica que el sobredimensionamiento se debe realizar sobre la presión manométrica, por lo que debe restarse la presión atmosférica a la absoluta.

$$P_{op.\ manométrica} = P_{op,abs} - P_{atm} = \text{[redacted]}$$

$$P_{diseño} = P_{op\,m} \cdot 1{,}1 = \text{[redacted]}$$

De nuevo, esto coincide con las recomendaciones de Walas: "La presión de diseño es un 10% o 10-25 psi (0,7-2 bar) por encima de la presión de operación máxima, la que sea mayor".

En resumen, las condiciones de operación para el diseño mecánico desde un punto de vista de seguridad operacional son [redacted]

8.2. Selección de material

Previamente a comenzar el diseño mecánico con los diferentes componentes del reactor catalítico R-101, es necesario determinar de qué material estará compuesto, justificando las razones de selección. Existen diferentes maneras de selección de material: por aplicación de heurísticas basadas en la experiencia, según las propiedades críticas aplicando criterios de fallo del equipo según los esfuerzos, o mediante mapas de propiedades que utilizan gráficos de barras o gráficos que representan diferentes propiedades (método Ashby). En este apartado se utilizará este último método para la determinación del material más adecuado según las circunstancias del proceso.

La metodología Ashby lleva el nombre de su desarrollador, Michael Ashby, se trata de un método que basa la selección del material más adecuado para desarrollar una determinada función en base a lo que se denominan índices de rendimiento o desempeño (P), los cuales combinan diferentes propiedades del material que reflejan su rendimiento. Este rendimiento del elemento estructural, en este caso un recipiente a presión, se define por tres aspectos independientes: los requerimientos funcionales (F), su geometría (G) y las propiedades del material (M) del que está construido. Usualmente se describe según la ecuación [17]:

$$P = f(F, G, M) \qquad [71]$$

El diseño óptimo se consigue con la selección de un material que maximice o minimice el rendimiento según los requerimientos funcionales. Cuando la función del equipo se combina con restricciones específicas y objetivos, se producen los índices de material a optimizar.

En el reactor R-101 tienen lugar las reacciones de oligomerización. La temperatura de operación se encuentra en el rango [redacted]. No es un valor muy alto, pero el material a seleccionar deberá tener una temperatura máxima mayor. La presión sí es un parámetro crítico en la selección del material, ya que opera a [redacted], por lo que el material deberá ser apto para operación a presiones elevadas.

En recipientes a presión de gran tamaño, el criterio de diseño usual se desarrolla en términos de una operación segura. Para garantizar esta seguridad, los recipientes se diseñan de forma que una mínima rotura en el material que se propague de forma inestable termine alcanzando una longitud mayor que la del espesor del recipiente. De esta manera, cualquier rotura se convierte en una fuga que puede ser detectada de forma fácil atendiendo a una pérdida de presión gradual. Este criterio se denomina "*leak before break*" o fuga antes que rotura [18].

El método de Ashby atendiendo a este criterio se presenta en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Criterios para la selección de materiales por método Ashby. Fuente: [18]

Función	Recipiente a presión
Restricciones	Diámetro del reactor
Objetivo	Maximizar la seguridad según el criterio "*leak before break*"
Variables libres	Selección del material

Para definir el índice de material que garantiza una operación segura, es necesario definir el término de tensión. Mediante un simple balance de fuerzas en equilibrio para una estructura cilíndrica, la expresión se deduce de la siguiente forma para un esfuerzo longitudinal como el de la Figura 8.1.

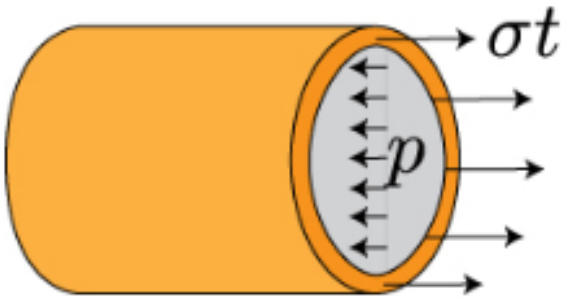


Figura 8.1 Diagrama de fuerzas en un cilindro. Fuente: [19]

$$\sum F_y = 0 \;\rightarrow\; \sigma(2\pi Rt) - p(\pi R^2) = 0 \qquad [72]$$

$$\sigma = \frac{P \cdot R}{2 \cdot t} \qquad [73]$$

Evidentemente, durante el diseño mecánico el espesor seleccionado debe garantizar que, a la presión de operación, la tensión generada se encuentre por debajo de la tensión de fluencia (σ_f).

$$t \geq \frac{P \cdot R}{2 \cdot \sigma_f} \quad [74]$$

Como se comentaba previamente, el diseño es totalmente seguro cuando la fisura generada termina atravesando todo el espesor del material creando una fuga detectable. Para conseguir esto, se igual el radio de la fisura (a_c) a la mitad del espesor de la pared del recipiente (t):

$$\sigma = \frac{C \cdot K_{1c}}{\sqrt{\pi \cdot \frac{t}{2}}} \quad [75]$$

En la que C es una constante cercana a 1, y K_{1c} se refiere a la resistencia a la fractura.

Combinando esta expresión con la restricción del espesor de pared mínimo, se obtiene la ecuación.

$$P \leq \frac{4 \cdot C^2}{\pi \cdot R} \cdot \left(\frac{K_{1c}^2}{\sigma_f}\right) \quad [76]$$

Teniendo en cuenta que C es una constante y R es el radio del recipiente, ambos valores ya predefinidos, se obtiene el primer índice de material a maximizar. Maximizar M1 garantiza que una operación a la presión máxima provoque que una rotura estable en la pared del recipiente resulte en una fuga detectable y evite una situación catastrófica.

$$M_1 = \frac{K_{1c}^2}{\sigma_f} \quad [77]$$

Además del punto de vista de seguridad, la selección del material también debe realizarse desde el punto de vista económico. La maximización de M_1 se consigue seleccionando un material con baja tensión de fluencia, pero esto a su vez es inversamente proporcional al espesor y la masa del tanque. A mayor cantidad de material necesario, mayor será el coste que acarree su construcción. Para minimizar el gasto, el material este debe ser elegido de manera que se minimice el espesor del equipo, siempre garantizando una operación segura. Esto se consigue observando la ecuación 74. El menor espesor necesario se consigue maximizando el valor de la tensión de fluencia, de forma que el segundo índice de material será:

$$M_2 = \sigma_f \quad [78]$$

Con estos dos índices, la selección del material es más restrictiva. Para elegirlo adecuadamente se utilizará mapas de lóbulos de la Figura 8.2 en el que se representan ambas propiedades presentes en los índices de rendimiento

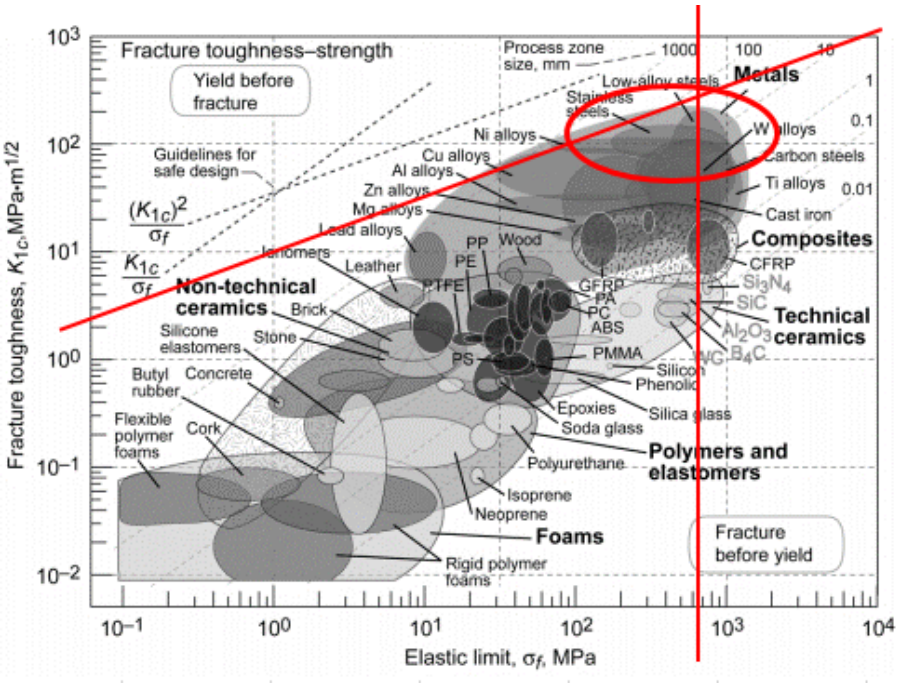


Figura 8.2 Resistencia a la fractura vs Tensión de fluencia. Fuente: [18]

Observando la Figura 8.2, al aplicar las restricciones comentadas se determina que los materiales que optimizan los índices de desempeño son metales. Entre los mejores materiales para una operación eficiente del reactor R-101 se encuentran:

- Aceros al carbono de baja aleación (<0,2% C)
- Aceros inoxidables

Las aleaciones de Niquel y Cobre también podrían ser buenos candidatos, pero no resultan de la opción económica más viable ya que su tensión de fluencia es menor, lo que implicaría mayor coste de material, por lo que se descartan. Las aleaciones de wolframio, titanio y aceros al carbono también presentan buen comportamiento, pero la resistencia a la fractura empeora.

Atendiendo a restricciones secundarias, los crudos de petróleo son mezclas de hidrocarburos que presentan una gran cantidad de elementos contaminantes como ácidos orgánicos, azufre y metales pesados. Estos compuestos pueden reaccionar con vapor de agua, hidrógeno y aditivos que se incorporan al crudo durante los procesos de destilación, llegando a formar agentes corrosivos.

En la unidad de oligomerización no existen etapas en las que se encuentre presente este tipo de adiciones, pero debe tenerse en cuenta la posibilidad de que en unidades *upstream* de la refinería esto sí ocurra, y los compuestos contaminantes se encuentren presentes en la alimentación. Por este motivo, el criterio de corrosión también se implementará en la selección de material como restricción secundaria.

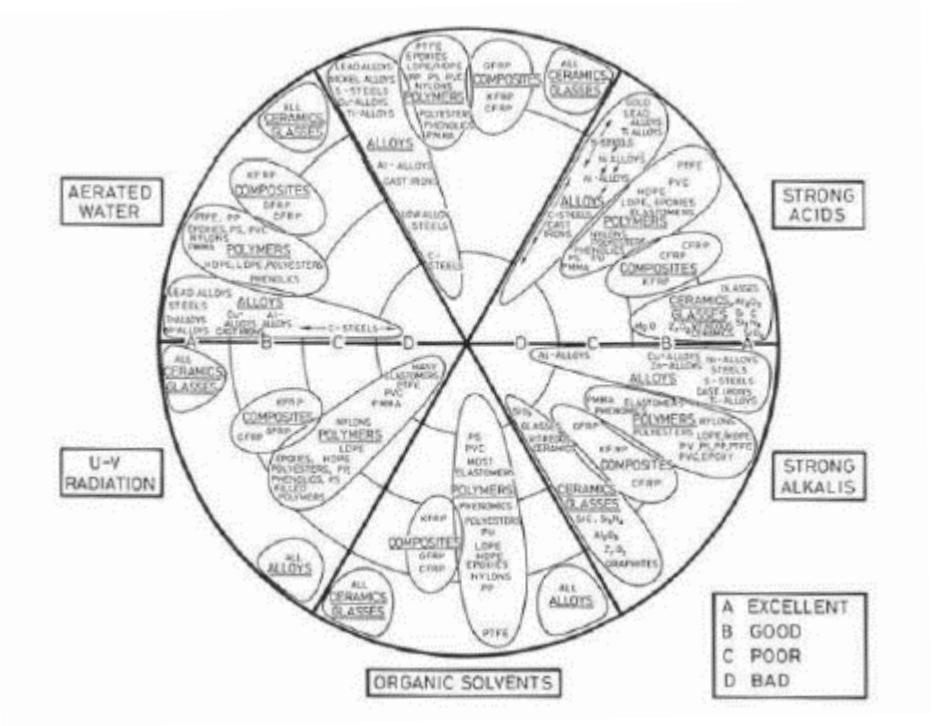


Figura 8.3 Diagrama de efectos corrosivos sobre a diferentes materiales. Fuente: [20]

En la Figura 8.3 se muestra un diagrama para el estudio del comportamiento de diferentes materiales ante la presencia de diferentes agentes corrosivos. Los agentes corrosivos que podrían formarse a partir de hidrocarburos se encuadrarían dentro de disolventes orgánicos. Ante esta situación, los materiales que mejor respuesta ofrecen son los cristales cerámicos y las aleaciones de metales. Puesto que los primeros no satisfacen las restricciones propuestas, las aleaciones metálicas son las opciones viables. A efectos comparativos, el acero al carbono no es un material resistente a la corrosión, aunque sí se obtiene una buena respuesta ante la presencia de disolventes orgánicos. Por otro lado, el acero inoxidable sí es resistente a la corrosión, mejorando su respuesta cuanto mayor sea su contenido en cromo. Si la corrosión fuese un parámetro clave, la selección del material debería estar basada en eliminar la posibilidad de corrosión de equipos, pero para el alcance de esta restricción, ambos materiales son aptos y deberán atenderse otras restricciones.

Entre las dos opciones principales planteadas, se atenderá al criterio económico comparando los precios de los dos materiales. En la Tabla 8.2 se muestran los precios para estos dos materiales.

Tabla 8.2 Precios por tonelada de aceros de baja aleación y aceros inoxidables. Fuente: adaptado de [20]

Metal	Precio (€/ton)
Acero de baja aleación	450-600
Acero inoxidable	140-1600

Como se puede ver, los aceros de baja aleación son mucho más baratos que el acero inoxidable. Por este motivo, el material más económico que mejor se adapta a las condiciones del reactor catalítico R-101 son los **aceros de baja aleación**.

8.2.1. Características del material seleccionado

El material de construcción del reactor catalítico heterogéneo R-101 es un acero de baja aleación según lo estipulado en el anterior apartado. Los aceros de baja aleación son un tipo de materiales ferrosos con propiedades mecánicas mejores a los aceros al carbono simples. Presentan generalmente mejor resistencia mecánico debido a que están constituidos por elementos en aleación como el níquel, cromo o molibdeno. El contenido aleado de Ni, Cr y Mo puede encontrarse en un rango entre 2,07% hasta un 10%, límite inferior que separa a los aceros inoxidables. La principal ventaja que presenta la incorporación de elementos de aleación es incrementar la dureza y resistencia para optimizar el rendimiento mecánico [21].

Entre los diferentes tipos de aceros de baja aleación, se pueden clasificar atendiendo a las diferentes funciones que desempeñen. Existen 4 funciones principales entre los aceros de baja aleación: aceros de alta resistencia térmica (Cr, Mo), con aplicación a bajas temperaturas (Ni), resistentes al desgaste y de alta resistencia a la tracción [22].

Los aceros de alta resistencia térmica aleados con Cromo y Molibdeno son los que mejor se adhieren a las necesidades del equipo, puesto que las reacciones son altamente exotérmicas y la operación en continua a alta temperatura requiere de un material resistente. Estos aceros de baja aleación contienen entre un 0,5% y 9% de Cr y entre 0,5-1% de Mo. El contenido en carbono es inferior al 0,2% con decente capacidad de soldadura y alta dureza. El contenido en Cromo otorga buena capacidad antioxidación y anticorrosión, mientras que el contenido en Molibdeno aumenta su resistencia a temperaturas y presiones elevadas.

Dentro de estos tipos de acero, existe una gran variedad según las propiedades y función a desempeñar. Para la selección del material en concreto se utilizará en estándar ASTM (*American Society of Testing Materials*) que regula y realiza ensayos para definir las propiedades de los materiales destinados a la construcción de bienes.

El estándar ASTM 387 cubre a todos los aceros aleados con Cromo y Molibdeno para su aplicación en recipientes a presión. La especificación ASTM 387 tiene un extenso uso en la industria de Oil & Gas y petroquímica, por lo que se adapta a la planta de oligomerización y los requerimientos del equipo a diseñar [23].

Los materiales considerados dentro de la especificación ASTM 387 se encuentran disponibles en diferentes grados según su composición y propiedades (grado 2, 12, 11, 22, 22L, 21, etc).

Siguiendo la línea de selección previa, según aplicación en industria petroquímica, se selecciona el acero de baja aleación especificación ASTM A387 Grado 22 Clase 22, con aplicación específica en calderas soldadas y recipientes a presión diseñados para su uso a temperaturas altas de servicio.

De acuerdo a la especificación comentada, el contenido químico requerido para este tipo de acero se muestra en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3 Composición química del acero de baja aleación ASTM A387 Grado 22 Clase 2. Fuente: [23]

Cr (%) (*nominal*)	**Mo (%) (*nominal*)**	**C (%)**	**Mn (%)**	**P (%)**	**S (%)**	**Si (%)**
1,88-2,62 (*2,25*)	0,9-1,15 (*1,00*)	0,04-0,15	0,25-0,66	0,035	<0,035	<0,5

También se incluyen las características de resistencia del material en la Tabla 8.4. Los valores mínimos indican que se ha aplicado el factor de seguridad.

Tabla 8.4 Requerimientos técnicos de resistencia para el acero ASTM A387 Grado 22 Clase 2. Fuente: [23]

Tensión de rotura (mín) (MPa)	515-690
Tensión de fluencia (mín) (MPa)	310
Temperatura máxima recomendada (℃)	650
Alargamiento en 50 mm[8] (mín) (%)	18
Reducción de área (mín) (%) [9]	40-45

Una vez seleccionado el tipo de acero de baja aleación, se debe introducir el concepto de esfuerzo máximo permisible, denominada con la letra S. Se trata del valor de tensión máximo que el material soporta antes de experimentar una deformación plástica permanente. Es una propiedad que se ve influenciada por la temperatura, y es utilizada para el cálculo de espesores, como se verá posteriormente.

La Tabla 8.5 muestra las tensiones máximas permitidas proporcionados por la norma ASME BPV Sección II Parte D (Propiedades para los materiales) en función de la temperatura para el material seleccionado.

Tabla 8.5 Tensiones máximas permitidas para acero ASTM A387 Grado 22 Clase 2. Fuente: Código ASME BPV Sec II

Temperatura (°F)	100	300	500	700	900
Esfuerzo máximo permisible, S (psi)	17100	16600	16600	16600	13600

[8] Ratio entre longitud alargada respecto a la longitud inicial del material después de un alargamiento de 50 mm

[9] Medida de la ductilidad en un ensayo de tracción. Diferencia entre la sección transversal inicial y la sección transversal más pequeña después de la tracción

8.3. Eficacia de soldadura

Previamente a la determinación de espesores, además del esfuerzo máximo permisible del material seleccionado y las condiciones de diseño, también se requiere introducir el concepto de eficacia de soldadura.

La eficacia de soldadura se puede entender como una medida de la calidad de la unión entre las juntas de los metales en un rango de 0 a 1. En el código ASME las soldaduras o juntas se dividen en categorías en función en función de su carácter crítico en la seguridad del recipiente, existiendo categorías A, B, C y D. Una categoría A es una junta longitudinal, mientras que una categoría B es una junta radial o circunferencial.

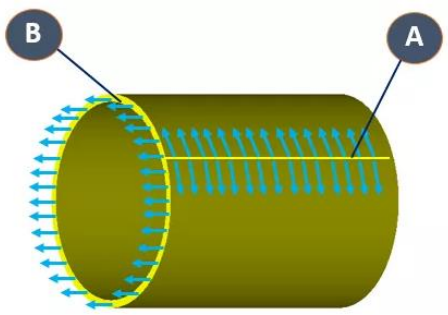


Figura 8.4 Categorías de soldadura según código ASME. Fuente: [25]

Además de las categorías existen diferentes tipos de juntas soldadas. Sin profundizar innecesariamente se comentará que existen juntas soldadas por ambos lados (Tipo 1), juntas soldadas con una tira de respaldo (Tipo 2) y juntas soldadas por un único lado (Tipo 3).

Otro concepto de importancia en la aplicación del código es el grado de radiografía de la junta, el cual determina la calidad de la soldadura. El grado de examinación puede ser nulo, radiografía de punto, y radiografía completa. Este último implica que una soldadura de categoría A sea radiografiada en toda su longitud. [24]

En el caso del Reactor R-101, se trata de un equipo fundamental en el proceso que trabaja a una presión interna [redacted], por lo que desde un punto de vista de seguridad, se requiere una eficacia de soldadura del 100% (E=1). Esto requiere un gasto económico mayor en etapas de construcción y mantenimiento, pero para un equipo de tal importancia es justificable.

Por lo tanto, la eficacia de soldadura del 100% se consigue con una doble soldadura (Tipo 1) con un examen radiográfico completo.

8.4. Espesores de pared

El código ASME BPV Sección VII Div.1 especifica un espesor mínimo de pared de 1,5 mm (1/16 pulgadas) sin incluir el sobredimensionamiento por corrosión y de manera independiente a las dimensiones del recipiente o material de construcción. Generalmente, los espesores necesarios para recipientes diseñados a presión interna es mayor, pero el código exige el diseño con ese espesor mínimo.

Para recipientes a presión sometidos al código mencionado, este especifica que se debe emplear en el diseño el mayor valor de los espesores calculados para recipientes sometidos a una tensión radial y longitudinal. Las expresiones se deducen a partir de un análisis de fuerzas y son proporcionadas por el código ASME para su aplicación.

$$t_{radial} = \frac{P_i \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot E - 1{,}2 \cdot P_i} \quad [79]$$

$$t_{longitudinal} = \frac{P_i \cdot D_i}{4 \cdot S \cdot E - 0{,}8 \cdot P_i} \quad [80]$$

Siendo t el espesor mínimo requerido, P_i la presión interna de diseño, D_i el diámetro interno, S el esfuerzo máximo permisible y E la eficacia de la soldadura.

Todos los valores necesarios han sido calculados anteriormente, por lo que en la Tabla 8.6 se presentan con los espesores mínimos obtenidos.

Tabla 8.6 Parámetros y espesores mínimos para el reactor R-101. Fuente: Elaboración propia

Presión manométrica (bar)	[redacted]
Presión de diseño (bar)	[redacted]
Presión de diseño (psi)	[redacted]
Diámetro recipiente (m)	[redacted]
Esfuerzo máximo permisible, S (psi)	[redacted]
t_{radial} (mm)	[redacted]
$t_{longitudinal}$ (mm)	[redacted]

El espesor radial es el mayor valor obtenido. Por lo tanto, el espesor mínimo para el reactor catalítico heterogéneo R-101 debe ser de [redacted]. El espesor mínimo especificado por el código ASME para un recipiente de un diámetro entre 3 y 3,5 m es de 12 mm, por lo que el resultado obtenido es bastante superior y el diseño se realiza de forma segura.

Al espesor mínimo calculado se le debe añadir un sobreespesor por corrosión debido al desgaste gradual del material. Aunque el resultado obtenido presenta bastante holgura respecto del mínimo, se aplicará igualmente un sobreespesor para situaciones de corrosión no severas (2mm).

$$t_{mínimo} = t_{radial} + sobreespesor\ por\ corrosión\ (2\ mm)$$

$$t_{mínimo} = 79{,}7\ mm$$

El valor de [redacted] mm no es un espesor estandarizado, por lo que se elige el siguiente valor superior que sí se encuentre estandarizado, en este caso de **80 mm**.

$$t_{mínimo,estandarizado} = 80\ mm$$

Es interesante estudiar el factor de seguridad que la norma ASME aplica en el diseño mecánico de los equipos, que simplemente resulta en calcular el ratio entre el espesor mínimo calculado y el espesor mínimo de fluencia.

Según referencias bibliográficas, la tensión de fluencia para aceros de baja aleación se suele encontrar en un rango entre 70000 y 120000 psi (aprox. 4800 y 8300 bar) [22]. Aplicando un balance de fuerzas radiales para el valor de la tensión de fluencia (σ_y), se puede calcular el espesor mínimo necesario para que se produzca una deformación irreversible en el equipo.

$$\sigma_y = \frac{P_i \cdot R}{t} \rightarrow t_{min,fluencia} = \frac{P_i \cdot R}{\sigma_y} \quad [81]$$

Los resultados se muestran en la Tabla 8.7, observando que para un límite de fluencia de 7000 psi, el factor de seguridad aplicado por el código ASME es superior a 4.

Tabla 8.7 Cálculo de factores de seguridad. Fuente: Elaboración propia

σ_y (psi)	70000
$t_{\text{min fluencia}}$ (in)	0,70
$t_{\text{min fluencia}}$ (mm)	17,90
Factor Seguridad	4,34

8.5. Cabezales

En este momento ya se han diseñado los componentes del cuerpo del equipo. El siguiente paso será determinar las terminaciones del recipiente. El diseño de estas se realizará también mediante el código ASME.

Las partes terminales de un recipiente cilíndrico se cierran con cabezales, los cuales dependiendo de las condiciones del equipo pueden tomar diferentes geometrías. La primera distinción se realiza entre cabezales planos o abombados. Los primeros tienen un uso más restricto a bajas presiones y diámetros pequeños. Los de mayor uso son los cabezales abombados, entre los que se distinguen cabezales hemiesféricos, elípticos y toriesféricos [20].

Según lo establecido en la obra de Ray Sinnot, los más comunes son los cabezales toriesféricos en operaciones que requieren presiones hasta 15 bar. Resultan una alternativa viable económicamente en ese rango de presiones, ya que a presiones más altas la alternativa más económica son los cabezales elípticos. Por último, los cabezales hemiesféricos son los cabezales con la geometría más fuerte, pero a su vez, son los más caros y se utilizan para presiones altas.

La presión de operación de [redacted] es una presión suficientemente alta para no plantearse otra opción que no sea un cabezal hemiesférico. El cabezal en cuestión tiene la forma presentada en la Figura 8.5.

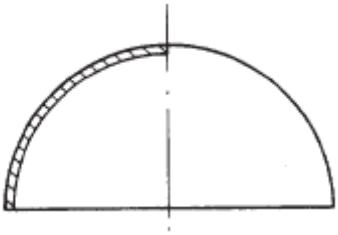


Figura 8.5 Cabezal hemiesférico. Fuente: [20]

Para realizar el cálculo de su espesor mínimo, se aplica la siguiente fórmula sujeta al estándar de diseño.

$$t_{hemiesférico} = \frac{P_i \cdot D_i}{4 \cdot S \cdot E - 0{,}4 \cdot P_i} \quad [82]$$

Las relaciones geométricas entre diámetro, área, volumen y altura del cabezal hemiesférico se encuentran también recogidas en el código ASME, atendiendo a las siguientes fórmulas con D_i siendo el diámetro interno y D_0 el diámetro externo, siendo este último el diámetro externo más el espesor del cabezal ($D_0=D_i+t$).

$$V_{hemiesférico} = 0{,}26103 \cdot D_i \quad [83]$$

$$A_{hemiesférico} = 1{,}57 \cdot D_0 \quad [84]$$

$$H_{hemiesférico} = 0{,}5 \cdot D_i \quad [85]$$

Los valores obtenidos para el espesor del cabezal y sus características geométricas se tabulan a continuación.

Tabla 8.8 Características geométricas del cabezal. Fuente: Elaboración propia

Cabezal del Reactor R-101	
Tipo	Hemiesférico
D_i (m)	3,20
$t_{cabezal}$ (mm)	38
D_o (m)	3,27
V (m^3)	0,83
A (m^2)	5,14
Altura (m)	1,60

El espesor calculado para el cabezal hemiesférico obtenido fue de 37,92 mm. Puesto que los fabricantes no proporcionan piezas al milímetro, se normaliza a 38 mm.

8.6. Espesor de aislante

El Reactor R-101 es un equipo que trabaja a una temperatura de [redacted]°C más el delta T que se produce por la exotermicidad de las reacciones. No se trata de una temperatura exageradamente elevada pero al tratarse de un reactor que opera adiabáticamente, se considera la opción de aplicar un recubrimiento aislante para evitar pérdidas de calor considerables.

Mediante una búsqueda en catálogos de fabricante, se ha optado por seleccionar como aislante un panel semi-rígido de lana de roca no revestido de la casa Rockwool, especializada en aislante térmico. El producto en cuestión es un panel de lana de roca con número de referencia 213, adecuado para las paredes de equipos industriales como depósitos, hornos y reactores [25].



Figura 8.6 Panel de lana de roca 213. Fuente: [25]

Las características del material proporcionadas por el fabricante se presentan en la Tabla 8.9.

Tabla 8.9 Características de lana de roca P-213 Rockwool. Fuente: [25]

Densidad nominal (kg/m3)	40
Temperatura en régimen continuo (°C) (*Norma AGI-Q 132)*	450
Temperatura máxima (en punta) (°C) *(Norma ASTM-C411*)	550
Calor específico a 20 °C (kJ/kg °C)	0,84

El aislante recubre toda la superficie lateral del reactor, y el tamaño del material dependerá del espesor del aislante, que será calculado aplicando un balance de energía en la pared externa del equipo. Para llevar a cabo el cálculo, en la Figura 8.7 se muestra un esquema de los recubrimientos y las diferentes temperaturas desde el interior al exterior del reactor.

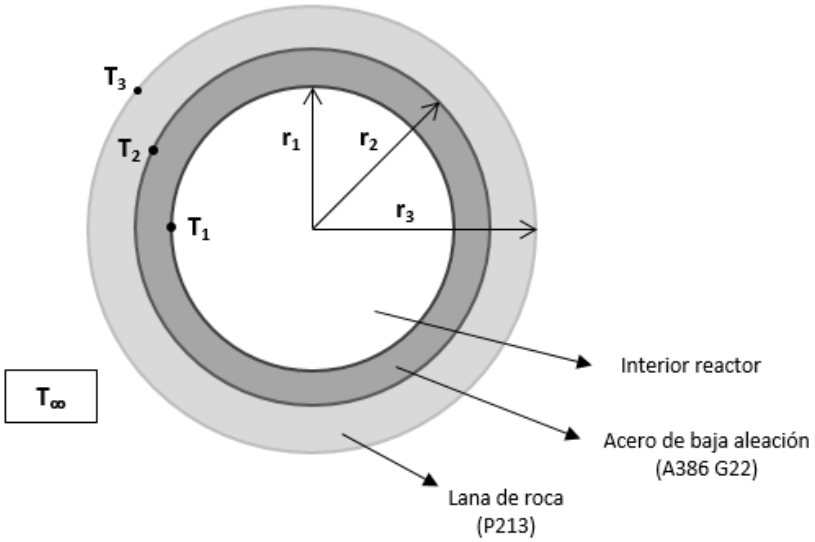


Figura 8.7 Esquema cubrimientos del reactor R-101. Fuente: Elaboración propia

La temperatura ilustrada como T_1 corresponde a la temperatura de la pared interna del reactor, que se considera la temperatura de diseño [redacted]. La temperatura T_2 es la temperatura a la que se encuentra la pared externa del reactor, T_3 es la temperatura exterior del aislante y T_∞ es la temperatura ambiente, que se asumen los 25°C usuales.

El radio r_1 corresponde al radio del interior del reactor, el radio r_2 es el radio exterior del reactor, y r_3 corresponde a la suma del radio interior más los espesores del acero y aislante.

Para determinar el espesor del aislante se debe aplicar un balance energético considerando los intercambios de calor por conducción desde la pared interna del reactor hasta la superficie externa del aislante, y el término convectivo desde esta superficie al ambiente.

Teniendo en cuenta que el flujo de calor que atraviesa la pared desde el interior al exterior es el mismo para cada capa:

$$\dot{Q_{total}} = \dot{Q_{acero}} = \dot{Q_{aislante}} = \dot{Q_{aire}} \quad [86]$$

El balance energético se puede presentar como analogía de resistencias eléctricas según la Ley de Ohm. Teniendo en cuenta que la pared del recipiente, la del aislante, y el aire están en serie, la resistencia total a la transferencia de calor es la suma de cada una de ellas.

$$R_{total} = R_{acero} + R_{aislante} + R_{aire} \quad [87]$$

La expresión para el balance energético se expresa como analogía eléctrica de la siguiente forma:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{acero} L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{aislante} L} + \frac{1}{2\pi r_3 L \cdot h_{aire}}} \quad [88]$$

Y si se expresan los flujos de calor entre capas consecutivas:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{acero} L}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{aislante} L}} = \frac{T_3 - T_\infty}{\frac{1}{2\pi r_3 L \cdot h_{aire}}} \quad [89]$$

En donde k corresponde a la conductividad térmica del material, h al coeficiente de convección y L a la longitud del reactor. Las temperaturas y radios se deducen de la *Figura 9*.

El procedimiento para determinar el espesor comienza con el cálculo del coeficiente de convección del aire asignando diferentes valores a T_3 para posteriormente realizar una comparativa. El mecanismo de transmisión de calor entre la superficie externa y el ambiente se considera por convección natural, en el que el movimiento de fluido se produce por diferencias en la densidad por gradientes de temperatura.

Según la excelente obre sobre transmisión de calor de Frank Incropera y David DeWitt [26], para un cilindro vertical de superficie isotérmica, en caso de que el espesor de la pared no sea comparable al diámetro del cilindro, la transferencia de calor puede aproximarse con las mismas correlaciones utilizadas para paredes verticales. El criterio general que se sigue para que el cilindro vertical pueda ser tratado como tal es:

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr_L^{1/4}} \quad [90]$$

Donde D es el diámetro del cilindro y Gr_L es el número Grashof, calculado como:

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_\infty - T_3) \cdot L^3}{v^2} \quad 91]$$

Donde g se refiere a la aceleración de la gravedad (9,81 m/s2), L la longitud de la superficie, v es la viscosidad cinemática del fluido y β es coeficiente de expansión volumétrica, que para gases ideales como el aire puede ser calculado como (1/T) en temperatura absoluta [26].

Es necesario mencionar que el subíndice de los números adimensionales se refiere a las dimensiones características en las que están basados. En caso de superficies verticales, el subíndice L se refiere a la longitud de la pared, que corresponde a la altura del reactor R-101,

mientras que si se considerase un cilindro horizontal, la dimensión característica sería el diámetro.

El siguiente paso para calcular h es determinar el número de Nusselt, que depende a su vez del número adimensional de Rayleigh, calculado como el producto entre el número de Prandtl y Grashof.

$$Ra_L = Pr \cdot Gr_L \quad [92]$$

Estos tres números relacionan diferentes propiedades de los campos de la mecánica de fluidos, transferencia de materia y transporte de calor. Como se puede ver, el número de Prandtl no tiene subíndice, debido a que se trata de una propiedad del fluido y no del flujo, y usualmente se encuentra tabulado.

Existen diferentes maneras de calcular el Nusselt, pudiendo utilizar gráficas para determinar constantes en función de los números adimensionales, o a partir de las correlaciones empíricas. En este caso, la forma más cómoda y directa es utilizar las correlaciones desarrolladas por Churchill y Chu que son válidas para amplios rangos de números de Rayleigh [26].

Para superficies isotérmicas en paredes verticales, gracias al trabajo de Churchill et al existen complicadas correlaciones que permiten calcular el número de Nusselt para rangos amplios de números de Rayleigh.

$$\overline{Nu} = \left(0{,}825 + \frac{0{,}387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0{,}492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right)^2 \quad [93]$$

Los números adimensionales en estas correlaciones son evaluados a la temperatura de película, calculada como la media aritmética entre la temperatura de la superficie y la del ambiente[10].

Mediante el Nusselt, se obtiene el coeficiente de convección h del aire, y se determina el flujo de calor en la pared cilíndrica mediante el término convectivo en el balance de energía. En este momento no se ha calculado todavía un espesor de aislante, pero otorgándole un valor pequeño se obtiene un flujo de calor aproximado.

$$Nu = \frac{hL}{k_{aire}} \quad [94]$$

Una vez se ha calculado el flujo de calor transmitido por convección hacia el exterior, se utiliza la herramienta matemática SOLVER para calcular el espesor del aislante utilizando el balance de energía de la Ecuación 88, y posteriormente la temperatura de la pared externa del reactor T_2 sustituyendo en las ecuaciones. Para utilizar esta ecuación, es necesario utilizar los valores de las conductividades térmicas del aislante y del acero del reactor.

Para la conductividad térmica del aislante de lana de roca el fabricante proporciona gráficas de esta propiedad en función de la temperatura según la norma DIN 52612. Según la temperatura que se designe a la superficie del aislante, esta propiedad debe ser ajustada para recalcular en la iteración.

[10] $T_f = \frac{T_\infty + T_{pared}}{2}$

La Figura 8.8 ofrece la evolución de la conductividad térmica de la lana de roca en función de la temperatura.

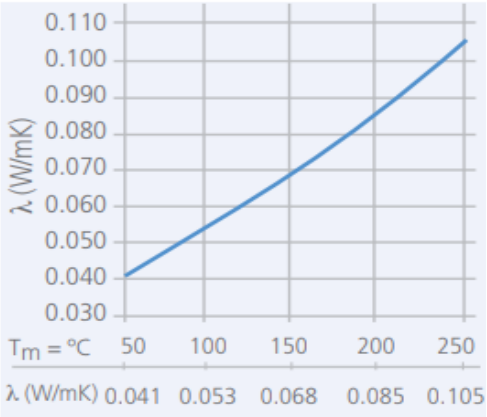


Figura 8.8 Conductividad térmica del aislante lana de roca P-213. Fuente: [25]

Por otro lado, para obtener la conductividad térmica del acero de baja aleación A386, se recurre a bibliografía [27], obteniendo un valor aproximado de 36 W/m K para una aleación de contenido en cromo similar al material del reactor. Este valor es evaluado a la temperatura mayor de 173°C del interior del reactor, asumiendo que el gradiente de temperatura en el espesor de acero no será significativo.

En la Figura 8.9 se muestran la evolución del espesor de aislante necesario en función de la temperatura de la superficie.

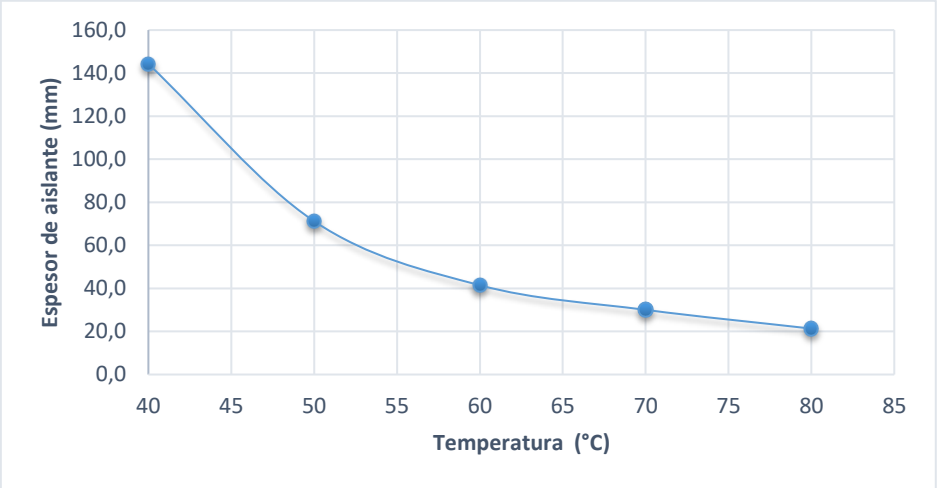


Figura 8.9 Espesor del aislante en función de la temperatura. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, para mantener una temperatura de 40°C en el exterior, el espesor del aislante necesario son [redacted] mm, lo que encarecería de forma considerable la construcción del equipo. En el otro extremo, para una temperatura de 80°C no es necesario una gran cantidad de aislante, con 2 cm sería suficiente, pero se considera que es una temperatura excesiva para que se encuentre en la superficie del material.

Aplicando una solución de ingeniería, se opta por que la temperatura en la temperatura en la superficie de aislante sea de 60°C, necesitando un espesor de 44mm para mantener dicha condición.

Los datos de partida necesarios para realizar el cálculo a esta temperatura se muestran en la Tabla 8.10 y los resultados obtenidos en la Tabla 8.11. Las propiedades para calcular los números adimensionales han sido extraídas de la bibliografía [26].

Tabla 8.10 Datos de partida para el cálculo del espesor de aislante. Fuente: Elaboración propia

r_1 (m)	1,60
r_2 (m)	1,68
T_1 (°C)	[redacted]
T_3 (°C)	60
T_3(K)	333
T_f(K)	315,5
β (K^{-1})	0,00317
ν (m^2/s)	$1,65 \cdot 10^5$
k_{aire}(W/mK)	0,0272
k_{acero}(W/mK)	36
$k_{aislante}$(W/mK)	0,0602
Pr	0,7049
Gr_L	$3,51 \cdot 10^{12}$
Ra_L	$2,47 \cdot 10^{12}$

Tabla 8.11 Resultados obtenidos para el cálculo del espeso de aislante

Nu	1484,9
h_{aire}(W/m2K)	4,218
R_{acero} (K/W)	$2,26 \cdot 10^5$
$R_{aislante}$ (K/W)	$7,39 \cdot 10^3$
R_{aire} (K/W)	$2,29 \cdot 10^3$
Q (W)	15254,0
T_2(°C)	[redacted]
r_3(m)	1,72
espesor aislante(mm)	41,5

La temperatura de la pared externa del recipiente de acero se encuentra a una temperatura muy próxima a la del interior, debido a que el acero es un material de conductividad térmica muy alta. El gradiente de temperatura hasta los 60°C de diseño se mantiene gracias al aislante de lana de roca.

La Figura 8.10 muestra un esquema de la pared del reactor con sus temperaturas y espesores.

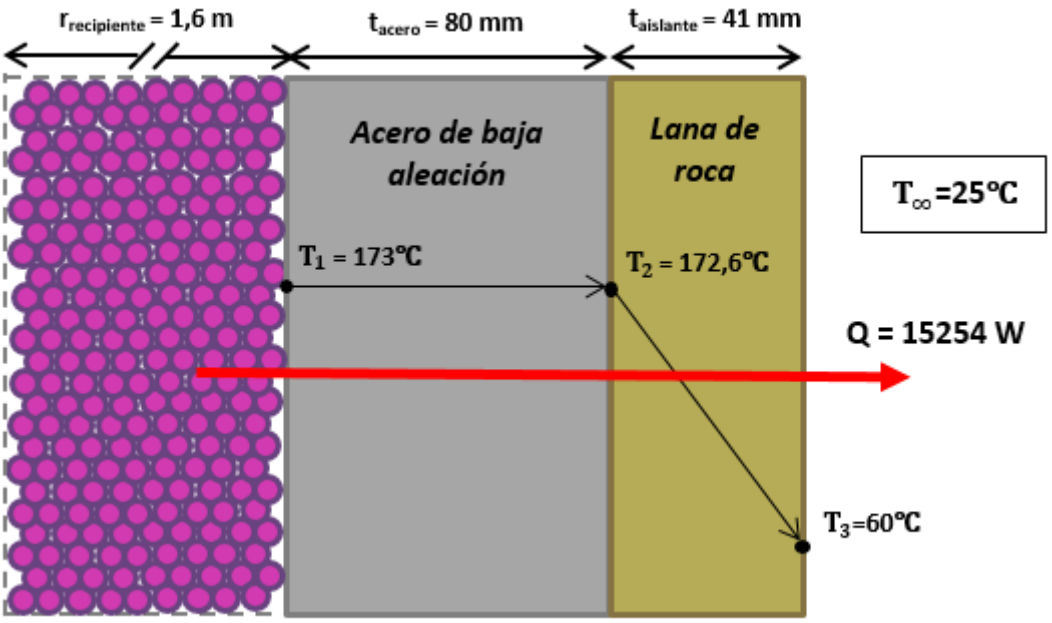


Figura 8.10 Esquema de la pared del reactor con sus recubrimientos. Fuente: Elaboración propia

8.7. Análisis estructural del recipiente sujeto a cargas combinadas

En múltiples ocasiones, los recipientes están sujetos a más de un tipo de carga (carga combinada) simultáneamente. Cuando esto ocurre, los esfuerzos en la estructura pueden ser analizados mediante un método de superposición de cargas de manera independiente para determinar la distribución del esfuerzo resultante. La metodología para el análisis de cargas combinadas seguirá el formalismo de la obra de Sinnot [20].

Las principales cargas además de la presión interna a tener en cuenta en el diseño son: el peso muerto del recipiente y sus componentes, el peso del catalizador en el lecho, el peso del aislante y las cargas por viento ya que la altura total del reactor entre carcasa y cabezales supera los 10 m de altura.

8.7.1. Peso muerto del recipiente

El peso muerto del recipiente está sujeto a las diferentes fuentes de carga. Además de la carcasa cilíndrica de acero, que tendrá en un peso considerable, hay que tener en cuenta el peso de los principales accesorios de la carcasa (válvulas, accesos), accesorios internos (soportes para el catalizador), accesorios externos (escaleras, plataformas y tuberías), el peso del aislante y el peso del líquido dentro del recipiente.

El peso preliminar de un recipiente cilíndrico con cabezales abombados y espesor de pared uniforme puede ser aproximado mediante la siguiente ecuación:

$$W_v = C_v \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot D_m \cdot g \cdot (H_V + 0{,}8 \cdot D_m) \cdot t \qquad [95]$$

Donde W_v es el peso total de la carcasa sin tener en cuenta los accesorios internos (N), C_v es un factor para tener en cuenta los accesorios internos (1,15). Hv es la altura del recipiente cilíndrico

(m), t es el espesor de la pared (m), ρ_m es la densidad del material (kg/m^3) y Dm el diámetro medio del recipiente[11](m). Los parámetros y resultado del peso del recipiente se facilitan en la Tabla 8.12.

Tabla 8.12 Cálculo del peso del recipiente. Fuente: Elaboración propia

C_v	1,15
ρ_m (kg/m^3)	7800
D_m (m)	3,36
g (m/s^2)	9,81
H_v (m)	9,6
t (m)	0,08
W_v (kN)	911,3

8.7.2. Peso del catalizador

Previamente se ha calculado la masa de catalizador obteniéndose 35120 kg para la conversión de butenos establecida. El cálculo del peso es trivial simplemente multiplicado por la aceleración de la gravedad.

El peso del catalizador obtenido son 344,5 kN.

8.7.3. Peso del aislante

El peso del aislante se calcula de manera sencilla una vez se ha calculado el espesor necesario. Simplemente conociendo la densidad de 40 kg/m3 proporcionada por Rockwool en la ficha técnica del material, y aplicando relaciones geométricas básicas para calcular el volumen de lana de roca, se obtiene la masa del aislante.

$$V_{aislante} = \pi \frac{D_e^2}{4} L - \pi \frac{D_m^2}{4} L \approx \pi \cdot D_m \cdot t_{aislante} \cdot L \qquad [96]$$

De nuevo, los efectos gravitatorios entran en juego y se puede calcular el peso. Los resultados se recogen en la Tabla 8.13.

Tabla 8.13 Cálculo del peso del aislante

$\rho_{aislante}$ (kg/m3)	40
$t_{aislante}$ (mm)	42
L (m)	9,6
D_m (m)	3,36
$V_{aislante}$ (m3)	4,25
$M_{aislante}$ (kg)	170,2
$W_{aislante}$ (kN)	1,67

[11] Dm es el diámetro del recipiente más el espesor. ($D_m = D_i + 2t$)

8.7.4. Cargas por viento

Las cargas por viento suelen afectar considerablemente a columnas de destilación de mucha altura. Sin embargo, al tratarse de un reactor de prácticamente 10 m de altura, se estudiará el esfuerzo generado sobre la estructura.

Para recipientes verticales, las cargas por viento pueden ser consideradas como un esfuerzo realizado en una viga voladiza empotrada en el otro extremo, por lo que el momento flector generado en el recipiente viene dado por:

$$M_x = \frac{wL^2}{2} \quad [97]$$

Donde M_x es el momento flector del reactor (N·m), L es la altura del recipiente y w la carga del viento por unidad de longitud (N/m).

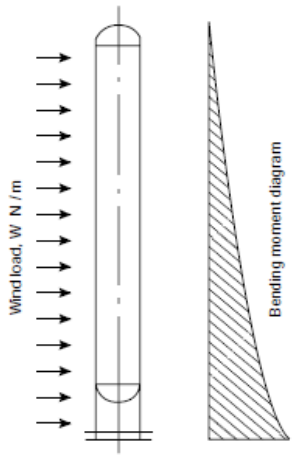


Figura 8.11 Esquema de las cargas por viento en un recipiente vertical. Fuente: [20]

La carga de viento en el reactor se calcula multiplicado la presión del viento por el diámetro efectivo, correspondiente al diámetro interno más los espesores de acero y aislamiento.

$$w = P_w \cdot D_{eff} \quad [98]$$

Por otro lado, la presión del viento para un recipiente cilíndrico puede determinarse directamente utilizando la ecuación:

$$P_w = 0{,}05 \cdot u_w^2 \quad [99]$$

Donde P_w se obtiene en N/m^2, u_w se refiere a la velocidad del viento, usualmente considerada para estudios preliminares es de 160 km/h (44,4 m/s).

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8.14.

Tabla 8.14 Cálculo de las cargas por viento del reactor R-101. Fuente: Elaboración propia

v_{viento} (km/h)	160
P_w (N/m2)	1280
D_{ef} (m)	3,32
w (N/m)	4252,16
M_x (N·m)	195939,5

8.7.5. Análisis de tensiones

En este apartado se realizará la comprobación de que los esfuerzos a los que está sometido el recipiente no superan los máximos permitidos por el material.

Se comienza calculando los esfuerzos longitudinales y axiales provocados por presión externa e interna.

$$\sigma_L = \frac{PD_i}{4t} \quad [100]$$

$$\sigma_h = \frac{PD_i}{2t} \quad [101]$$

Donde σ_L es el esfuerzo longitudinal (N/mm^2) y σ_h es el esfuerzo axial (N/mm^2), P la presión de diseño (N/mm2), Di el diámetro interno del reactor (m) y t el espesor de la pared del reactor (m).

El esfuerzo al que se somete el recipiente por su propio peso se calcula con la siguiente expresión. Al tratarse de un esfuerzo de compresión tendrá valores negativos.

$$\sigma_w = \frac{W_v}{\pi(D_i + t)t} \quad [102]$$

Y el esfuerzo de flexión, σ_b se obtiene a partir de los momentos de flexión que afectan al equipo, según la expresión:

$$\sigma_b = \pm\frac{M}{I_v}\left(\frac{D_i}{2} + t\right) \quad [103]$$

Donde M es el momento flector total (N·m), I_v es el momento flector del área del reactor sobre el plano (m^4), calculado como $I_v = \frac{\pi}{64}\left(D_0^4 - D_i^4\right)$. D_0 es el diámetro externo del reactor con el espesor, y D_i el diámetro interno.

El esfuerzo total longitudinal σ_z es la suma del estrés longitudinal, σ_L, el esfuerzo del propio peso el recipiente, σ_w y al esfuerzo de flexión, σ_b. No existe estrés por torsión y el radial se considera despreciable.

$$\sigma_z = \sigma_L + \sigma_w \pm \sigma_b \quad [104]$$

Realizando un análisis de signos, σ_w al ser un esfuerzo generado por el peso del recipiente, es una fuerza compresiva por lo que tendrá signo negativo. El esfuerzo de flexión σ_b tendrá signo positivo o negativo dependiendo de la dirección del viento. En caso de que el esfuerzo se realice con el viento a favor (*downwind*) el signo será positivo, y en caso de viento en contra (*upwind*) el signo será negativo. Los resultados de todos los esfuerzos se resumen en la Tabla 8.15.

Tabla 8.15 Cálculo del esfuerzo longitudinal resultante. Fuente: Elaboración propia

σ_L (N/mm^2)	54,00
σ_h (N/mm^2)	108,00
σ_w (N/mm^2) (compresivo)	1,53
I_v (m^4)	1,11
σ_b (N/mm^2)	0,30
σ_z(N/mm^2) (compresivo)	52,77
σ_z(N/mm^2) (flexivo)	52,18

Como se puede observar, el esfuerzo de flexión σ_b es muy bajo debido a que la columna no es demasiado alta y la carga por viento apenas provoca esfuerzos en la estructura.

El último paso es la comprobar si la estructura permite soportar las cargas a las que está sometido. Se deben satisfacer dos condiciones: el esfuerzo máximo permisible del material de construcción debe ser mayor que la diferencia máxima de esfuerzos, y el esfuerzo de pandeo crítico $\sigma_c = 2 \cdot \frac{10^4 t}{D_0}$ debe ser inferior a la suma del esfuerzo por peso muerto del equipo y del esfuerzo flector. Se resumen a continuación:

Condición 1: Esfuerzo máximo permisible

$$S > \Delta\sigma_{max} \quad [105]$$

La diferencia máxima de esfuerzos se da entre el esfuerzo radial, σh y el esfuerzo longitudinal resultante compresivo, y debe ser menor que el esfuerzo máximo permisible del material (16600 psi=114,45 N/mm^2)

$$\Delta\sigma_{max} = \sigma_h - \sigma_z \quad [106]$$

Condición 2: Estabilidad elástica (pandeo)

$$\sigma_c > \sigma_w + \sigma_b \quad [107]$$

En la Tabla 8.16 se muestran las comprobaciones de que las condiciones se satisfacen.

Tabla 8.16 Comprobación de análisis de tensiones. Fuente: Elaboración propia

S (N/mm^2)	114,45	S > σ_h-σ_z
σ_h-σ_z	55,23	
σ_c (N/mm^2)	464,72	σ_c > σ_w+σ_b
σ_w+σ_b	1,82	

Comprobando estas dos condiciones, el análisis estructural se determina satisfactorio para que el equipo pueda soportar los esfuerzos a los que está sometido según el diseño, considerando las cargas externas e internas.

8.8. Soportes

La elección del tipo de soporte de un recipiente depende del tamaño, forma, orientación y peso de este, además de las condiciones de temperatura y presión de diseño y los componentes del equipo.

Los recipientes verticales están normalmente soportados sobre una estructura reforzada y situada sobre cemento. Este soporte intermedio entre el recipiente y la superficie de cemento consiste en una carcasa cilíndrica de metal denominada falda (*skirt*) [28].

La falda cilíndrica usualmente es soldada directamente al recipiente, y ya que no debe soportar la presión interna del equipo, la selección del material no está limitada a los aceros permitidos por los códigos de recipientes a presión. No habrá esfuerzos por presión interna o externa para la falda, pero sin embargo los esfuerzos por peso muerto y por el viento serán máximos.

8.8.1. Espesor de la falda

El espesor de la falda debe diseñarse para soportar el peso muerto del recipiente y los momentos flectores. El cálculo de esfuerzos resultantes se realiza a partir de los esfuerzos que generan estas cargas en la base del recipiente:

$$\sigma_{bs} = \frac{4 \cdot M_s}{\pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s \cdot D_s} \quad [108]$$

$$\sigma_{ws} = \frac{W}{\pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s} \quad [109]$$

En donde M_s es el momento flector máximo en la base de la falda, W el peso total del equipo y componentes, D_s el diámetro de la falda en la base, coincidente con el diámetro externo del reactor, y t_s el espesor de la falda. Con estos valores se pueden obtener los esfuerzos resultantes simplemente sumando cada uno de ellos.

$$\sigma_s\ (tracción) = \sigma_{bs} - \sigma_{ws} \quad [110]$$

$$\sigma_s\ (compresión) = \sigma_{bs} + \sigma_{ws} \quad [111]$$

Para el diseño de la falda, el material no es necesariamente el mismo que el de la carcasa, por lo que para abaratar costes se escogerá como material acero al carbono (CS). El espesor mínimo que se exige para la falda no debe ser inferior a 6 mm. Teniendo en cuenta que se trata de un recipiente de más de 10 m de altura con un espesor de acero de 80 mm, el espesor de la falda se considerará también de 80 mm. El diámetro interno de la falda (D_s) se asume el mismo que el diámetro interno de la carcasa (3,2 m).

Respecto al peso del equipo, en el diseño del soporte se realiza para una situación de operación con el valor calculado en el apartado anterior, y otro para un test hidráulico con el recipiente lleno de agua. La aproximación para el peso del agua es sencilla conociendo el volumen y la densidad del agua.

Tabla 8.17 Cálculo de esfuerzos resultantes en la falda del reactor R-101. Fuente: Elaboración propia

t_s (mm)	80
D_s (m)	3,20
W_{total} (N)	$1{,}26 \cdot 10^6$
W_{test} (N)	$2{,}01 \cdot 10^6$
θ (º)	90
σ_{bs} (N/mm^2)	0,30
σ_{ws} (N/mm^2)	1,53
σ_{ws} test (N/mm^2)	2,44
σ_s tracción (N/mm^2)	1,23
σ_s compresion (N/mm^2)	1,82

El espesor de diseño de la falda debe ser capaz de soportar la peor combinación de cargas posible (viento, peso muerto…). El criterio de validez para un espesor de falda calculado debe respetar lo siguiente:

$$\sigma_s(tracción) \leq S_{20^\circ C} \cdot E \cdot sen\ \theta_s \quad [112]$$

$$\sigma_s(compresión) \leq 0{,}125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_s}{D_s}\right) \cdot sen\ \theta_s \quad [113]$$

Donde $S_{20°C}$ es el esfuerzo máximo permisible del acero al carbono de la falda a temperatura ambiente (20°C), que tiene un valor de 135 N/mm^2, E es la eficiencia de soldadura, que se considera 0,85 por las condiciones no severas del soporte, θ_s es el ángulo de la base, que para una falda en geometría cónica serán 90°C y E_Y es el módulo de Young para el acero al carbono, con un valor de 200000 N/mm^2.

En la Tabla 8.18 se muestra la comprobación de los esfuerzos resultantes calculados respecto a los valores de los criterios:

Tabla 8.18 Comprobación de esfuerzos resultantes en el Reactor R-101. Fuente. Elaboración propia

Variable	Valor	Criterio
σ_s tracción (N/mm^2)	1,23	Se cumple
$S_{20°C} \cdot E \cdot sen\ \theta_s$ (N/mm^2)	114,75	
σ_s compresion (N/mm^2)	1,82	Se cumple
$0{,}125 \cdot E_Y \cdot \left(\frac{t_s}{D_s}\right) \cdot sen\ \theta_s$ (N/mm^2)	625	

Ambos criterios se cumplen. El diseño del soporte es válido para el espesor escogido. Nótese que se trata de un espesor acorde al espesor de la carcasa de acero. Sin embargo, existe la posibilidad de reducir este valor y abaratar costes ya que el criterio se satisface con bastante holgura.

8.9. Componentes internos del reactor

Además del diseño mecánico de los componentes externos del reactor como el aislante, los cabezales o el soporte, e incluso a nivel interno el catalizador, también es interesante ofrecer una visión general de los diferentes componentes internos que tienen impacto en su rendimiento. En la Figura 8.12 se muestra un esquema de un reactor catalítico de lecho fijo, con los diferentes componentes internos que serán comentados a continuación.

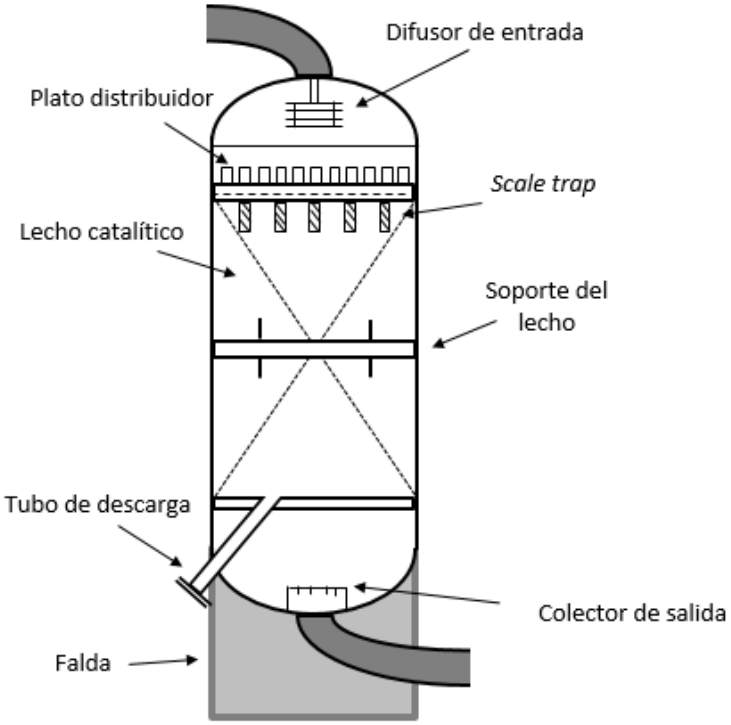


Figura 8.12 Componentes internos de un reactor catalítico. Fuente: Elaboración propia adaptado de [32]

En la parte superior del cabezal del reactor se encuentra el distribuidor o difusor de entrada, cuya función es asegurar una distribución uniforme del líquido sobre el plato distribuidor y reducir la energía cinética de la alimentación para minimizar la turbulencia directa sobre el plato [29].

El plato distribuidor se sitúa justo encima del lecho de catalizador y es uno de los componentes clave de los internos de un reactor. Su objetivo es distribuir el fluido de manera uniforme sobre toda la superficie transversal del lecho catalítico para maximizar su eficiencia, evitando caminos preferenciales y mayor agotamiento de ciertas zonas del lecho. Un plato distribuidor estándar está formado por múltiples chimeneas con aperturas laterales o superiores para líquidos o gases, respectivamente. En la Figura 8.13 se muestra un ejemplo de plato distribuidor para líquidos obtenido de la página web comercial de PANTAN Co, compañía manufacturera puntera de componentes internos para recipientes de proceso.

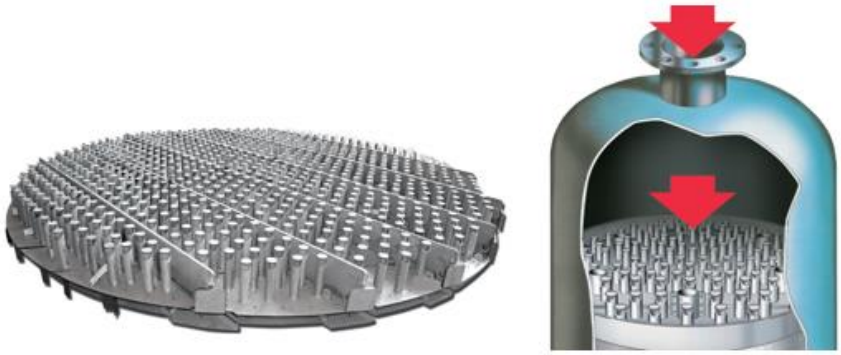


Figura 8.13 Plato distribuidor. Fuente: [30] [32]

En los reactores de flujo vertical hacia abajo es usual que la alimentación arrastre contaminantes metálicos que pueden atascar la superficie del lecho catalítico. Para solucionar problema, justo

debajo del plato de distribución se suelen incluir una serie de pantallas con arreglo cilíndrico (*scale traps*) que tienen la función de recolectar e impedir el paso a material contaminante, y también de incrementar la superficie total de la parte superior del lecho extendiendo su vida útil. Un arreglo típico de *scale trap* se muestra en la Figura 8.14. Los cilindros suelen tener un diámetro externo entre 4 y 6 in, y una longitud entre 12 y 16 in.

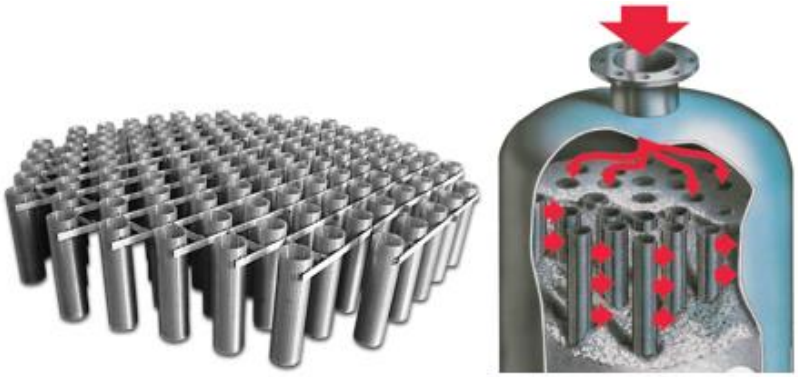


Figura 8.14 Scale trap. Fuente: [30] [32]

También es común incluir bolas inertes de material cerámico directamente debajo de la entrada, con el objetivo de proteger el lecho catalítico de posible contaminación en la corriente de alimentación y mejorar la distribución del fluido a lo largo del lecho. El material cerámico de estas bolas suele ser alúmina, conformando una capa de 0,15 m con bolas de diámetro 150mm aproximadamente. Para evitar que las bolas se cuelen dentro del lecho, puede situarse justo debajo algún material que ejerza de pantalla [29].

Es importante diseñar el interior del reactor respetando que haya espacios (*manholes*) que permitan a los operadores realizar tareas de mantenimiento. Estos pueden situarse en la línea central o lateral del recipiente, y pueden tener tamaños entre 400 y 600 mm [29].

Los soportes del lecho catalítico se diseñan para soportar los lechos catalíticos bajo operación normal sin crear ningún tipo de restricción a lo largo del equipo. También deben ser capaces de soportar la caída de presión a lo largo del lecho cuando adquiere valores significativos. Para un eficiente soporte de la carga es recomendable instalar los soportes de lado a lado de la carcasa (*Side By Side,* SBS). En la Figura 8.15 se muestra un tipo de soporte con vigas atravesadas a lo largo de soporte, que ayudan a mantener fijas las partículas en el lecho, y una rejilla que permite el paso del fluido y evita la filtración de las partículas catalíticas.

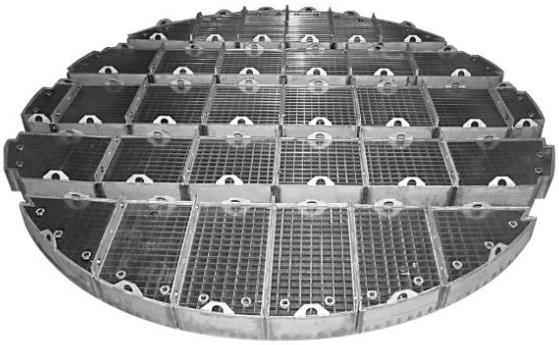


Figura 8.15 Soporte del lecho catalítico. Fuente: [30]

En la parte inferior del lecho también es normal introducir un plato de redistribución con la misma función que la del plato distribuidor de la parte superior.

El último componente a lo largo de la longitud vertical del reactor es el colector externo, que igual que el plato distribuidor, permite una óptima distribución del líquido a la salida del lecho, de forma que la parte inferior del lecho catalítico también opere de forma eficiente. Otra tarea es prevenir que partículas de catalizador, bolas inertes y otras partículas finas entren en la tubería de salida.



Figura 8.16 Colector de salida. Fuente: [30]

9. Bibliografía

1. IZQUIERDO, J.F., CUNILL, F., TEJERO, J., IBORRA, M., FITÉ, C. *Cinética de las reacciones químicas*. 1ª Edición. Colección Metodología. Edicions Universitat de Barcelona. Barcelona, 2004. ISBN: 84-8338-479-5
2. LEVENSPIEL, O. *Ingeniería de las reacciones químicas*. 3ª edición. Limusa Wiley, México, 2004. ISBN 968-18-5860-3.
3. KLM TECHNOLOGY GROUP. *Reactor Systems (Process Engineering Equipment Design Guideline)*. [en línea]. [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: http://www.klmtechgroup.com/PDF/EDG/ENGINEERING_DESIGN_GUIDELINES_reactor_systems_Rev01web.pdf

[redacted]

5. ALAM, T., y otros. *Synthesis and characterization of silica doped alumina catalyst support with superior termal stability and unique pore properties.* Journal of Porous Materials, 2015. [en línea]. [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1007/s10934-015-0101-z

6. WOOTEN, J.T. *Dense and Sock Loading Compared.* Oil&Gas Journal, 1998. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://www.ogj.com/articles/print/volume-96/issue-41/in-this-issue/general-interest/dense-and-sock-catalyst-loading-compared.html
7. TIAKO NGANDJUI L.M. y THYRION F.C. *Kinetic Study and Modelization of n-Butenes Oligomerization over H-Modernite*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1996. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie950382v
8. FOGLER, H. SCOTT. *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*. 3ª Edición. México: Pearson Educación, 2008. ISBN: 978-970-26-1198-1
9. GEE, G. J. y WILLIAMS, SHAWN. T. *Dimerization of linearl olefins on Amberlyst 15: Effect of chain lenght and double-bond position*. Chevron Philipps Chemical Company. Journal of Catalysts, 2013. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021951713001024
10. PERATELLO, S., MOLINARI, M., BELLUSSI, G., PEREGO, C. *Olefins oligomerization: thermodynamics and kinetics over a mesoporous silica-alumina*. EniTecnologies S.P.A. Catalysis Today. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/256152272_Olefins_oligomerization_Thermodynamics_and_kinetics_over_a_mesoporous_silica-alumina
11. TISCAREÑO LECHUGA F. *ABC para comprender reactores químicos con multireacción*. 1ª edición. Universidad de Celaya, México: Ed. Reverté, 2008, ISBN: 9789686708769.
12. [12] SMITH J, VAN NESS H, ABBOT M. *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. 5ª edición. México DF, México: Ed. McGraw-Hill, 1996, ISBN: 970-10-1333-6.
13. TURTON, R. et al. *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*. 3ª Edición. Estados Unidos de América: Prentice Hall, 2008. ISBN 0-13-512966-4
14. ANCHEYTA, J. *Modeling and Simulation of Catalytic Reactors for Petroleum Refining*. 2011 [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470933565
15. TRAHAN, J. y otros. *Evaluation of pressure drop and particle sphercity for an air-rock bed thermal energy storage system.* USF Clean Energy Research Cente, University of South Florida. 2013. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214015859
16. WALAS, S.M. Chemical Process Equipment. Selection and Design. 1ª Edición. Estados Unidos de América: Butterworth-Feinemann, 1990. ISBN 0750693851

17. ASHBY M.F. *Materials selection in Mechanical Design.* 4ª edición. Amsterdam, Países Bajos: Ed. Elsevier, 2011, ISBN: 9781856176637
18. STEVEN M. ARNOLD, CEBON, DAVID. *Materials Selection for Aerospace Systems*. National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2012. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120001798.pdf
19. HOLMES, DOUGLAS P. *Mechanics of Slender Structures*. Boston University Mechanical Engineering. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: http://www.bu.edu/moss/mechanics-of-materials-combined-loading/
20. SINNOTT R, TOWLER G. *Chemical Engineering Design. Principles, practice and economics of plant and process design*. 1ª edición. Estados Unidos de América: Ed. Elsevier, 2008, ISBN: 978-0-506-8423-1
21. RODRÍGUEZ, H. *Clasificación de los aceros*. Ingemecánica, Tecnología mecánica y formación. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://www.ingemecanica.com/aceros/aceros01.html
22. GOODWELD. *Low Alloy Steels. Material General Review.* [en línea] Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: http://www.goodweld.com.tw/upload/product/th-18.pdf
23. MASTEEL. *ASTM A387*. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019]. Disponible en: https://masteel.co.uk/astm-a387/
24. MOLERA, P. *Soldadura industrial: clases y aplicaciones*. 1ª Edición. Barcelona: Marcombo Editores, 2004. [en línea] [Consulta: 11 Junio 2019] ISBN: 978-8426708755 . Disponible en: https://es.scribd.com/document/273193750/Soldadura-Industrial-Clases-y-Aplicaciones
25. ROCKWOOL. *Aislamiento de equipamientos industriales (catálogo)*. Rockwool Firesafe Insulation. [en línea] Consulta: 12 Junio 2019]. Disponible en: https://www.rockwool.es/
26. INCROPERA, F., DEWITT, D. *Fundamentos de transferencia de calor. 4 Edición.* México: Prentice Hall, 1999. ISBN: 970-17-0170-4.
27. SHELTON, S.M. *Thermal Conductivity of some irons and steels over the temperatura range 100 to 500°C*. Bureau of Standards. Journal of Research, vol. 12, 1934. [en línea] Consulta: 12 Junio 2019]. Disponible en: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/12/jresv12n4p441_A2b.pdf
28. BROWNELL, L., YOUNG, E. *Process Equipment Design*. 1ª Edición. Estados Unidos de América. John Wiley & Sons, 2009. ISBN: 978-0471113195
29. HAWKINS, G. *Hydrogenation Reactor Design: Fixed Bed Reacttor Internals*. GBHE Enterprises Technical Bulletin CTB. en línea] [Consulta: 12 Junio 2019] Disponible en:

https://www.academia.edu/10167978/HYDROGENATION_REACTOR_DESIGN_-_Fixed_Bed_Reactor_Internals

30. PANTAN CO. [sitio web] [Consulta: 12 Junio 2019] Disponible en: http://pantan.co
31. CROWL D, LOUVAR J. *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications. Chapter 8: Introduction to Reliefs & Chapter 9: Relief Sizing*. 2ª edición. Estados Unidos de América: Ed. Prentice-Hall, 2002. ISBN: 0-13-018176-5
32. JOHNSONN SCREENS. *Internals for Down Flow Reactor*. [en línea] [Consulta: 23 Junio 2019] Disponible en: https://www.environmental-expert.com/files/26277/download/787581/58.pdf
33. MENGUAL CUQUERELLA, J. *Craqueo término y catalítico, con y sin vapor de agua, de alcanos sobre zeolitas, cinética, desactivación y estabilización del catalizador*. Universitat de Valencia, 2010. [En línea] [Consulta: 23 Junio 2019] Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/31944/mengual.pdf?sequence=1

PARTE B

DISEÑO DE LA FRACCIONADORA T-202

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Índice

1. Introducción 4
2. ¿Por qué destilación? 4
3. Tipo de columna: platos o relleno 5
4. Aspectos termodinámicos 6
4.1. Introducción: Equilibrio líquido vapor 6
4.2. Valor K 6
4.3. Volatilidad relativa 7
4.4. Modelo termodinámico elegido 7
4.5. Cálculo del punto de rocío y de burbuja 8
5. Procedimiento de diseño 9
5.1. Definición del sistema 9
5.2. Componentes clave 10
5.3. Presión de operación 12
6. Métodos simplificados 12
6.1. Condición de la alimentación 13
6.2. Número mínimo de etapas: N_{min} 16
6.2.1. Ecuación de Fenske 16
6.2.2. Método de Winn 17
6.2.3. Simulación en Aspen Hysys 18
6.2.4. Conclusiones 18
6.3. Relación de reflujo mínima: $(L/D)_{min}$ 18
6.3.1. Método Algebraico de Underwood 18
6.3.2. Método de Colburn: Determinación de temperaturas pinch 19
6.3.3. Simulación en Aspen Hysys 21
6.3.4. Conclusiones 21
6.4. Número de etapas requerido para el reflujo actual 21
6.4.1. Correlación Erbar-Maddox para el cálculo del número de etapas. 22
6.4.2. Simulación en Aspen Hysys 23
6.4.3. Conclusiones 23
6.5. Localización del plato de alimentación 23
6.5.1. Ecuación de Kirkbride 23
6.5.2. Simulación en Aspen Hysys 24
6.5.3. Conclusiones 24

6.6. Resumen de resultados 24
7. Diseño riguroso 24
7.1. Introducción 25
7.2. Balances por etapa y ecuaciones MESH 25
7.3. Métodos rigurosos 26
7.4. Justificación del método utilizado 27
7.5. Método Lewis-Matheson 27
7.5.1. Distribución de los componentes en las corrientes de productos: Método de Hengstebeck 28
7.5.2. Estrategia de cálculo plato por plato 31
7.5.3. Cálculo plato por plato: Estimación de composiciones a través de Hengstebeck 31
7.5.4. Cálculo plato por plato: Estimación de composiciones a través de Aspen Hysys 50
8. Conclusiones globales y solución adoptada 54
9. Diseño hidráulico 54
9.1. Eficiencia global de la columna 55
9.2. Número de etapas reales 56
9.3. Espaciado entre platos 56
9.4. Diámetro de la columna 57
9.5. Selección del tipo de plato 58
9.6. Áreas del plato 58
9.7. Recopilación de propiedades para el diseño hidráulico de platos perforados 59
9.8. Diámetro de la columna basado en condiciones de inundación 60
9.9. Selección del patrón de flujo 61
9.10. Arrastre de líquido (*Entrainment)* 62
9.11. Punto de goteo (*Weeping)* 63
9.12. Caída de presión 65
9.12.1. Caída de presión en el plato 65
9.13. Retorno de la bajante (*Downcomer back-up)* 66
9.14. Diseño del área perforada 68
10. Diseño mecánico 70
10.1. Material de construcción 70
10.2. Presión de diseño 70
10.3. Temperatura de diseño 71
10.4. Propiedades de interés del AISI 1025 71
10.5. Espesor de pared 72
11. Aislante térmico 73

11.1. Espesor del aislante 74
12. Selección del tipo de cabezal 76
12.1. Diseño de cabezales 76
13. Análisis de recipiente sujeto a cargas combinadas 78
13.1. Peso del recipiente vacío 78
13.2. Cargas por viento 79
13.3. Análisis de esfuerzos 79
14. Selección del soporte 81
15. Bibliografía 82

1. Introducción

La destilación ha sido, y es, el método de separación más utilizado en la industria química y aliada. A pesar de ser una técnica bien conocida sigue llamando la atención de investigadores y diseñadores, que con el paso de los años avanzan hacia unas construcciones más eficientes en separación y con un menor consumo de energía.

Aunque a la hora de llevar a cabo un proceso nuevo es necesario estudiar las alternativas existentes en materia de separación (destilación, extracción, absorción…), cuando se trata de procesos petroquímicos la opción es bastante evidente. Las torres de destilación (también conocidas como fraccionadoras) llenan refinerías y plantas petroquímicas, siendo partes imprescindibles del proceso de refino de petróleo y de toda su cadena de valor. En la Figura 1.1 se puede apreciar una imagen de la refinería de A Coruña (lugar de implantación del proceso que nos atinge) en la que se cuentan, al menos, cuatro columnas de destilación.



Figura 1.1: Imagen nocturna de la refinería de A Coruña. Fuente: [1]

2. ¿Por qué destilación?

Como ya se ha comentado, la destilación es la operación de separación más utilizada en la industria química a pesar de su baja eficiencia termodinámica. La preminencia de esta operación no es casual, si no consecuencia de dos razones: la cinética y la termodinámica [2].

Desde el punto de vista cinético, la transferencia de materia por unidad de volumen sólo está limitada por las resistencias a la difusión de la fase líquido y vapor (en régimen turbulento) mientras que en casi todas las demás operaciones de separación existe algún solvente inerte o matrices sólidas presentes que limitan los flujos másicos. En la destilación se alcanzan grandes cantidades de transferencia de materia, lo que reduce los costes de capital [2].

Desde el punto de vista termodinámico, la eficiencia típica de una columna de destilación es del 10%. La eficiencia se puede incrementar instalando intercondensadores e *interreboilers* y, aunque un 10% parece poco, no muchos otros procesos industriales son más eficientes [2].

Por norma general, la destilación es el método más barato y más adecuado para separar mezclas de líquidos en sus distintos componentes excepto cuando [2]:

1. La diferencia de volatilidades entre los componentes de la mezcla es muy pequeña.
2. Se necesita recuperar una cantidad muy pequeña de algún componente de alto punto de ebullición presente en la alimentación. Sería necesario vaporizar toda la alimentación para recuperar esa pequeña cantidad de componente.
3. Algún componente es térmicamente inestable incluso en condiciones de vacío.
4. La mezcla es extremadamente corrosiva o tiene un alto potencial de ensuciamiento.

La mezcla que se pretende separar en la fraccionadora T-202 no cumple ninguna de las condiciones mencionadas anteriormente por lo que la destilación es la operación idónea para realizar.

3. Tipo de columna: platos o relleno

Por decisión de REPSOL se utilizará una columna de platos, aunque de todos modos es necesario justificar su elección. Según las fuentes bibliográficas consultadas [3], las columnas de relleno deberán ser utilizadas cuando:

1. El diámetro de la columna es pequeño. El coste relativo de los platos de diámetro pequeño es mayor.
2. Se utilizan condiciones de vacío. Las columnas de relleno tienen menor caída de presión.
3. Se requiere poca caída de presión.
4. Los componentes son corrosivos. Existen variedad de materiales anticorrosivos para el empaquetamiento.
5. El sistema tiende a formar espuma.
6. El líquido retenido en las columnas de relleno es menor que en las de platos. Esto es un punto importante a considerar cuando se manejan sustancias peligrosas.

Por otra parte, las columnas de platos:

1. Son capaces de soportar mejor las variaciones en el caudal que las columnas de relleno.
2. El diseño es más riguroso que para las de relleno.
3. La predicción de la eficiencia del plato es mejor que el equivalente en relleno.
4. El mantenimiento es más fácil.
5. Es más fácil realizar extracciones laterales.

Como no se cumple ninguno de los motivos necesarios para plantear la utilización de una columna de relleno, se justifica la elección de una columna de platos para realizar la separación deseada.

4. Aspectos termodinámicos

En esta sección se tratarán, de una forma poco detallada, los aspectos termodinámicos que se han tenido en cuenta a la hora de realizar el diseño del equipo.

4.1. Introducción: Equilibrio líquido vapor

Aunque existen infinidad de textos dedicados al equilibrio líquido-vapor, es necesario comprender su funcionamiento básico para poder comprender la destilación. Lejos de pretender explicar en profundidad los modelos termodinámicos, en este apartado se realizará una breve explicación del equilibrio líquido-vapor.

La destilación es un proceso de separación basado en el concepto de etapa de equilibrio, que estipula que todas las corrientes que abandonan una etapa están en equilibrio. Para entender el concepto de equilibrio se debe considerar un vapor y un líquido que están en contacto el uno con el otro. Las moléculas de vapor están continuamente condensándose y las de líquido evaporándose y, si hay presente más de una especie química, la velocidad con la que se produzca ese cambio de fase será diferente. Cuando una mezcla está en equilibrio la temperatura (condición térmica), presión (condición mecánica) y composición (condición química) dejan de variar y, aunque las moléculas siguen evaporándose y condensándose, lo hacen a la misma velocidad. Aunque microscópicamente el sistema permanece invariante, a nivel macroscópico (desde el punto de vista del proceso) se puede apreciar el equilibrio.

4.2. Valor K

Se define el valor K de un componente como:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} \qquad [1]$$

Donde:

- y_i: fracción molar del componente *i* en la fase vapor.
- x_i: fracción molar del componente *i* en la fase líquida.

Básicamente, el valor K es un indicativo de la tendencia que tiene el componente *i* a vaporizarse. Si el valor K es alto, el componente *i* tenderá a concentrarse en la fase vapor mientras que si es bajo tenderá a concentrarse en la fase líquida. Este parámetro es función de la temperatura, la presión y la composición, de modo que cuando dos variables estén fijadas, también lo estará la tercera [2].

Este valor K puede ser definido a partir de ecuaciones de estado o a partir de coeficientes de actividad. Para mezclas ideales a bajas presiones los cálculos se simplifican, pudiendo calcular el valor K a través de la Ley de Raoult (basada en la presión de saturación). Para mezclas no ideales es necesario realizar el cálculo de los valores K a través de los coeficientes de actividad, que pueden ser estimados a través de modelos como el de Wilson, *Nonrandom Two Liquid* (NRTL) o *universal Quasichemical* (UNIQUAC). Estos modelos son semiempíricos y se basan en que las fuerzas intermoleculares causarán una estructura no azarosa en la mezcla [3].

4.3. Volatilidad relativa

Se define la volatilidad relativa del componente *i* como:

$$\alpha_{ij} = \frac{Valor\ K\ del\ componente\ i}{Valor\ K\ del\ componente\ j} \quad [2]$$

La volatilidad relativa es una medida de la facilidad de separación. Si es alta, el componente *i* tiene más tendencia a vaporizar que el componente *j* y será fácil de separar a través de destilación. Cuanta menor sea esta tendencia más se acercará a la unidad y por lo tanto más difícil será de separar. Si la volatilidad relativa de dos componentes es la unidad, esa mezcla no puede ser separada por destilación.

4.4. Modelo termodinámico elegido

Debido a los episodios anteriores de no-idealidad y no-linealidad de la mezcla (problema con los calores específicos, explicado en el Anexo III) se ha decidido obtener los valores K para la mezcla que se desea separar de la base de datos de *Aspen Properties*. Aunque sería posible utilizar los modelos termodinámicos para calcular los valores K, el rango de temperaturas que se espera en la columna de destilación aumentaría notablemente la cantidad de cálculos y la dificultad de los mismos. En la Figura 4.1 se muestran los valores K obtenidos a través del modelo termodinámico *Peng-Robinson* (adecuado para hidrocarburos a presiones bajas y moderadas) a una presión de 1,0133 bar y en un rango de temperaturas de 100 a 300 ºC.

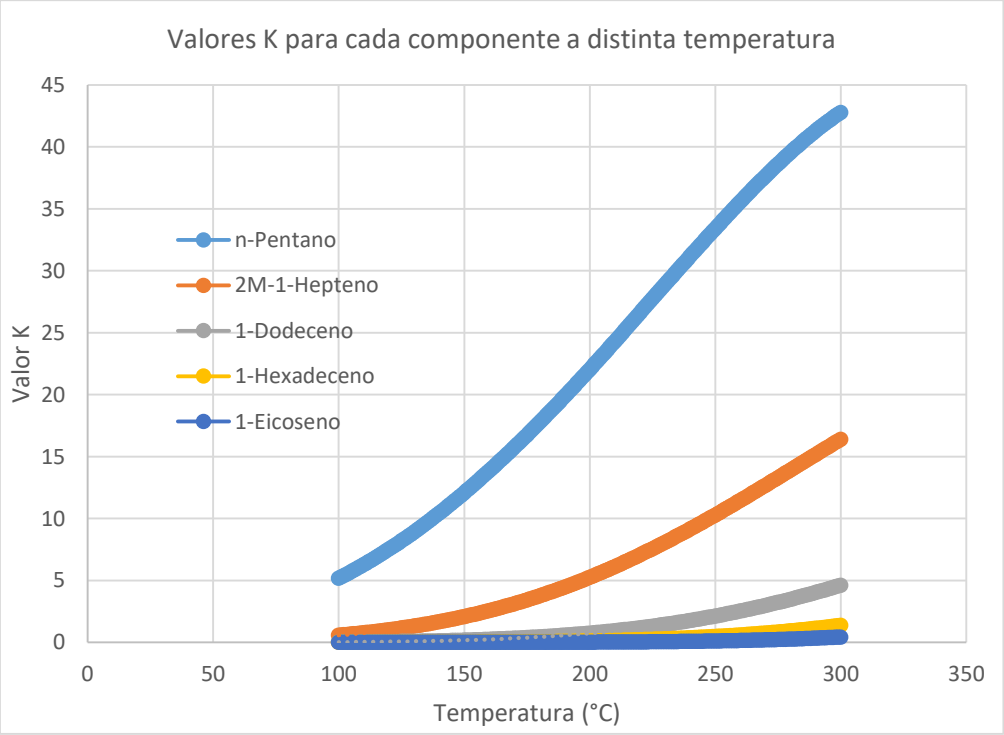


Figura 4.1 Valores K para cada uno de los componentes de la mezcla a presión atmosférica y distintas temperaturas. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Aspen Properties.

De la Ecuación 3 a la 7 se muestran las correlaciones obtenidas para las curvas correspondientes a los valores K de la Figura 4.1.

- **n-Pentano:**

$$y = 1{,}77 \cdot 10^{-13}x^6 - 2{,}08 \cdot 10^{-10}x^5 + 8{,}84 \cdot 10^{-8}x^4 - 1{,}92 \cdot 10^{-5}x^3 + 3{,}01 \cdot 10^{-3}x^2 - 1{,}84 \cdot 10^{-1}x + 5{,}76 \quad [3]$$

- **2-Metil-1-Hepteno:**

$$y = 3{,}59 \cdot 10^{-14}x^6 - 5{,}14 \cdot 10^{-11}x^5 + 2{,}30 \cdot 10^{-8}x^4 - 3{,}87 \cdot 10^{-6}x^3 + 4{,}41 \cdot 10^{-4}x^2 - 2{,}30 \cdot 10^{-2}x + 0{,}518 \quad [4]$$

- **1-Dodeceno:**

$$y = -6{,}54 \cdot 10^{-15}x^6 - 1{,}50 \cdot 10^{-13}x^5 + 3{,}42 \cdot 10^{-9}x^4 - 1{,}06 \cdot 10^{-6}x^3 + 1{,}49 \cdot 10^{-4}x^2 - 1{,}00 \cdot 10^{-2}x + 0{,}264 \quad [5]$$

- **1-Hexadeceno:**

$$y = -8{,}49 \cdot 10^{-15}x^6 + 8{,}92 \cdot 10^{-12}x^5 - 3{,}02 \cdot 10^{-9}x^4 + 5{,}23 \cdot 10^{-7}x^3 - 5{,}01 \cdot 10^{-5}x^2 + 2{,}53 \cdot 10^{-3}x - 5{,}31 \cdot 10^{-2} \quad [6]$$

- **1-Eicoseno:**

$$y = -1{,}49 \cdot 10^{-15}x^6 + 2{,}84 \cdot 10^{-12}x^5 - 1{,}34 \cdot 10^{-9}x^4 + 3{,}00 \cdot 10^{-7}x^3 - 3{,}58 \cdot 10^{-5}x^2 + 2{,}22 \cdot 10^{-3}x - 5{,}62 \cdot 10^{-2} \quad [7]$$

Estas correlaciones ayudarán posteriormente a realizar los cálculos.

4.5. Cálculo del punto de rocío y de burbuja

Los puntos de rocío y de burbuja serán utilizados para calcular la temperatura del condensador y del *reboiler* respectivamente. Esto permitirá establecer la presión de operación en la columna y establecer un rango de temperaturas para evaluar correctamente las volatilidades relativas.

Se puede calcular el punto de rocío de una mezcla a través de:

$$\sum_{i=1}^{C} \frac{y_i}{K_i} = 1.0 \quad [8]$$

De la misma manera se puede calcular el punto de burbuja como:

$$\sum_{i=1}^{C} x_i \cdot K_i = 1.0 \quad [9]$$

El procedimiento para realizar estos cálculos se basa en la prueba y error. No obstante, no es difícil implementar los cálculos en una hoja de Excel en la que, a través de la herramienta Solver, se varíe la temperatura (y por consiguiente el valor de K usando las correlaciones mostradas en las Ecuaciones [3-7]) para así obtener el resultado de forma rápida y con un error mínimo. Todos los cálculos de temperaturas de rocío y burbuja se harán de esta manera para el diseño en cuestión.

Las ecuaciones [8] y [9] se utilizarán para determinar las temperaturas de cabezas y colas y, de esa manera, poder decidir eficientemente la presión de operación de la columna.

5. Procedimiento de diseño

A lo largo de esta sección se definirá el problema en cuestión (qué se pretende separar, en qué cantidad…) y se procederá a diseñar el equipo a través de tres procedimientos: métodos simplificados, método riguroso y simulación en Aspen Hysys. Por último, se compararán los resultados obtenidos en cada apartado y se obtendrán las conclusiones pertinentes.

5.1. Definición del sistema

Como se puede deducir del balance de materia, la destilación que se va a llevar a cabo es multicomponente. En comparación con los sistemas binarios, los métodos de cálculo para sistemas multicomponente son más complejos y latosos por lo que es necesario realizar algunas suposiciones iniciales que permitan desarrollar el sistema de cálculo.

En sistemas binarios los grados de libertad permiten que se pueda obtener una solución directa, pero en sistemas multicomponente es necesario realizar una serie de pasos para poder realizar el diseño de la columna [5]:

1. Especificar el grado de separación requerido (especificaciones de productos).
2. Seleccionar modo de operación (continuo o discontinuo) y presión de operación.
3. Seleccionar el tipo de contacto en cada etapa (platos o relleno).
4. Determinar el número de etapas y la relación de reflujo.
5. Dimensionar la columna: tamaño y número de etapas reales.
6. Diseño de los elementos internos: platos, distribuidores, soportes…
7. Diseño mecánico.

En la Figura 5.1 se muestran los esquemas de una destilación básica y una destilación con múltiples entradas y múltiples salidas.

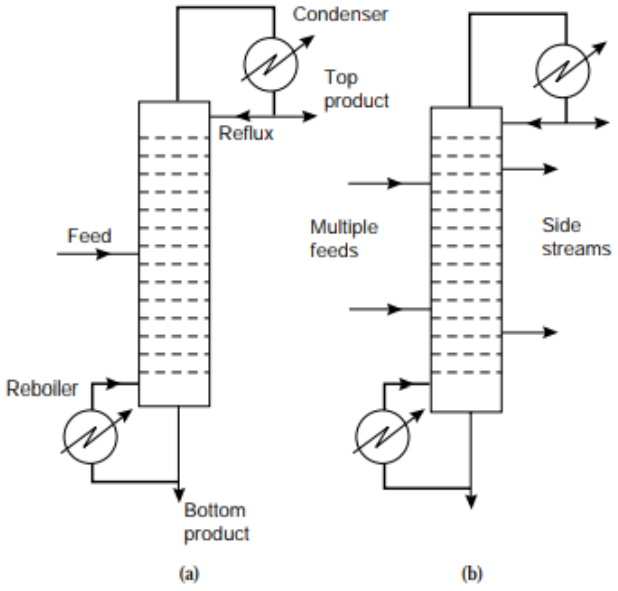


Figura 5.1 Columna de destilación (a) columna básica (b) columna con múltiples entradas y salidas. Fuente: [5]

5.2. Componentes clave

Los componentes clave son aquellos entre los que se quiere realizar la separación. Puesto que los productos que se pretenden obtener en esta etapa son gasolina y destilado medio, los componentes clave se determinan en función de la fracción que se desee obtener en cada corriente. Se entenderá como gasolina aquella fracción comprendida entre C5-C12 y como destilado medio la fracción superior a C12. En la Tabla 5.1 se muestra la corriente de entrada a la columna y la caracterización de sus componentes.

Tabla 5.1: Datos de la corriente de entrada a la columna T-202. Fuente: elaboración propia.

Rango	Componente	X_F	Flujo molar (kmol/h)	Flujo másico (kg/h)	Clave
C5	n-Pentano	0,11	4,69	338,38	**LNK**
C8	2-Metil-1-Hepteno	0,64	28,20	3164,24	**LNK**
C12	1-Dodeceno	0,16	6,85	1152,65	**LK**
C16	1-Hexadeceno	0,07	3,20	718,68	**HK**
C20	1-Eicoseno	0,03	1,15	321,41	**HNK**
	TOTAL	**1,000**	**44,082**	**5695,35**	

Donde:

- LK: Siglas de *Light Key*. Es el componente clave ligero, el que se desea mantener fuera de la corriente de fondos.
- HK: Siglas de *Heavy Key*. Componente clave pesado, aquel que se desea mantener fuera de la corriente de cabezas.
- LNK: Siglas de *Light Non Key.* Se refiere a componentes más ligeros que el clave ligero. Se da por hecho que salen en su totalidad por la corriente de cabezas.
- HNK: Siglas de *Heavy Non Key.* Componentes más pesados que el pesado clave que se recuperan en su totalidad en la corriente de colas.

Se establecerá el grado de recuperación requerido en un 99,9% para el LK y el HK. De esta manera, suponiendo que los componentes LNK se obtienen en su totalidad por cabezas y que los HNK por colas, se puede calcular la composición de las corrientes de salida a través de un balance de materia en la columna (esquema simplificado en la Figura 5.2).

Estos porcentajes de recuperación se estiman de manera inicial teniendo en cuenta que la separación, debido a los diferentes puntos de ebullición de las fracciones a separar, será relativamente fácil de alcanzar.

La suposición de que todos los componentes no clave se obtienen totalmente por cabezas o colas se realiza para facilitar los cálculos de los métodos simplificados. Aunque en la realidad no será cierto (siempre habrá algo de cada componente en todas las corrientes), es una asunción aceptable a la hora de realizar los cálculos preliminares. Como se verá en las secciones

posteriores, para realizar el cálculo riguroso será necesario suponer o estimar las composiciones de cada componente en las corrientes de productos.

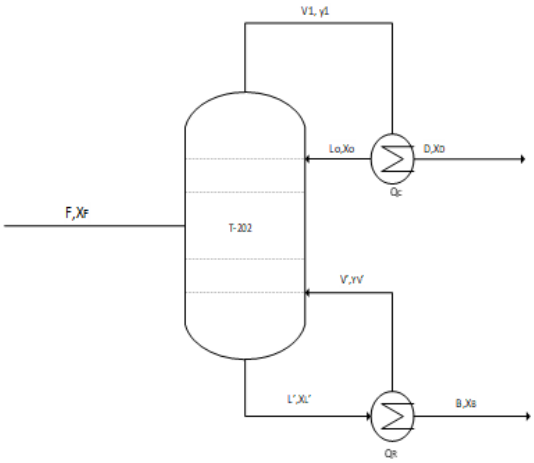


Figura 5.2 Esquema simplificado de la fraccionadora T-202. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 5.2 se muestran las composiciones de la corriente obtenida por cabezas.

Tabla 5.2: Composiciones y flujos de la corriente de destilado. Fuente: Elaboración propia.

Componente	**X_D**	**Flujo molar (kmol/h)**	**Flujo másico (kg/h)**
n-Pentano	0,12	4,69	338,4
2-Metil-1-Hepteno	0,71	28,20	3164,2
1-Dodeceno	0,17	6,84	1151,5
1-Hexadeceno	0,00	0,00	0,8
1-Eicoseno	0,00	0,00	0,00
TOTAL	**1,00**	**39,73**	**4654,9**

De la misma manera, en la Tabla 5.4 se muestran las composiciones y flujos de la corriente de producto obtenida por colas.

Tabla 5.3: Composición y flujo de la corriente de salida obtenida por colas. Fuente: elaboración propia.

Componente	**X_B**	**Flujo molar (kmol/h)**	**Flujo másico (kg/h)**
n-Pentano	0,00	0,00	0,00
2-Metil-1-Hepteno	0,00	0,00	0,00
1-Dodeceno	0,00	0,01	1,15
1-Hexadeceno	0,74	3,20	717,96
1-Eicoseno	0,26	1,15	321,41
TOTAL	**1,000**	**4,35**	**1040,52**

5.3. Presión de operación

Este parámetro, fundamental a la hora de realizar el diseño del equipo, está directamente ligado a las utilidades de la planta y las características de los productos obtenidos. La presión de operación tiene que ser tal que permita alcanzar el punto de rocío con las utilidades disponibles en planta. Si la presión es muy alta, sería necesario considerar refrigerantes especiales.

Será necesario considerar la operación a vacío cuando haya que disminuir el punto de ebullición por algún tipo de sensibilidad térmica de los componentes (por ejemplo, el craqueo térmico) o cuando las temperaturas de ebullición sean demasiado altas.

Estimando rápidamente el punto de rocío de la corriente obtenida por cabezas a través de las correlaciones de las ecuaciones [3] a [7], la ecuación [2] y las composiciones de la Tabla 5.3 se obtiene que, a presión atmosférica, la mezcla condensará a 159ºC. Esto significa que las utilidades disponibles en planta son más que suficientes para poder satisfacer la condensación a presión atmosférica.

A pesar de eso, el método habitual de selección de presión en el condensador es diferente. En vez de determinar la temperatura de rocío a una presión dada se calcula la presión de vapor de la mezcla a la temperatura que permita alcanzar la utilidad en cuestión. En este caso, la temperatura se disminuiría con un aerorefrigerador, que permite alcanzar una temperatura promedio de 35 ºC. A través de Aspen Hysys se calculó la presión de vapor de la corriente obtenida por cabezas a 35 ºC, que resultó ser 0,15 bar. Dado que la operación a vacío aumentaría los costes de proceso y no se produce la degradación del producto, se opta por utilizar presión atmosférica.

A la hora de determinar el número de etapas se asumirá que la presión a lo largo de la columna es constante, aunque posteriormente (cuando el diseño esté más avanzado) se determinará la caída de presión a lo largo de la misma.

6. Métodos simplificados

En esta sección se explicarán los métodos simplificados (o métodos *shortcut*) utilizados para determinar características esenciales en el diseño de la columna. Estas características permitirán realizar el diseño riguroso de la columna y comparar los resultados obtenidos entre los distintos métodos.

Aunque es habitual que en los problemas de carácter académico se asuman ciertas situaciones ideales que faciliten los cálculos y ayuden a la compresión de la materia que se estudia, en este documento se expone un problema real y hay ciertos aspectos que no se pueden pasar por alto. Una de estas asunciones es el modelo CMO (*Constant Molal Overflow)* propuesto por Lewis [4] y otra es que las volatilidades relativas se mantienen constantes a lo largo de la columna. Esta segunda suposición es correcta en muchas ocasiones (cuando las temperaturas entre el condensador y el *reboiler* no varían demasiado) pero no en este caso. De la misma manera que ocurrió con los calores específicos en el balance de energía al reactor R-101, será necesario utilizar las correlaciones de los valores K presentadas anteriormente para poder realizar los cálculos pertinentes en función de la temperatura.

A través de los datos presentados en las Tablas 5.3 y 5.4 y las correlaciones para el valor K de cada componente se puede calcular la temperatura de burbuja y de rocío de las corrientes de productos, que determinarán las temperaturas del *reboiler* y del condensador, respectivamente.

En la Tabla 6.1 se muestran las temperaturas de todas las corrientes involucradas en la operación de la columna T-202.

Tabla 6.1: Temperaturas de las corrientes de entrada y salida a la presión de operación. Fuente. Elaboración propia.

Corriente	Temperatura (°C)
Alimentación	150,9
Cabezas	159
Colas	295

De esta manera se establecen las temperaturas de operación del condensador y del *reboiler*. La temperatura de la alimentación vendrá dada por el proceso aguas arriba.

6.1. Condición de la alimentación

Para poder utilizar los métodos simplificados y rigurosos será necesario determinar la condición de la alimentación. A través de balances de materia y de energía alrededor de la columna [4] se puede llegar a la ecuación 10, que define la condición de la alimentación:

$$q = \frac{L' - L}{F} = \frac{H - h_F}{H - h} \qquad [10]$$

Siendo:

- L': Caudal molar de líquido en la sección de agotamiento.
- L: Caudal molar de líquido en la sección de rectificación.
- F: Caudal molar de alimentación
- H: Entalpía de la fase vapor en el plato de alimentación.
- h_F: Entalpía de la corriente de alimentación.
- h: Entalpía de la fase líquida en el plato de alimentación.

En la Figura 6.1 se muestran las entalpías para cada componente en la fase vapor y en la Figura 6.2 para la fase líquida a presión atmosférica en función de la temperatura.

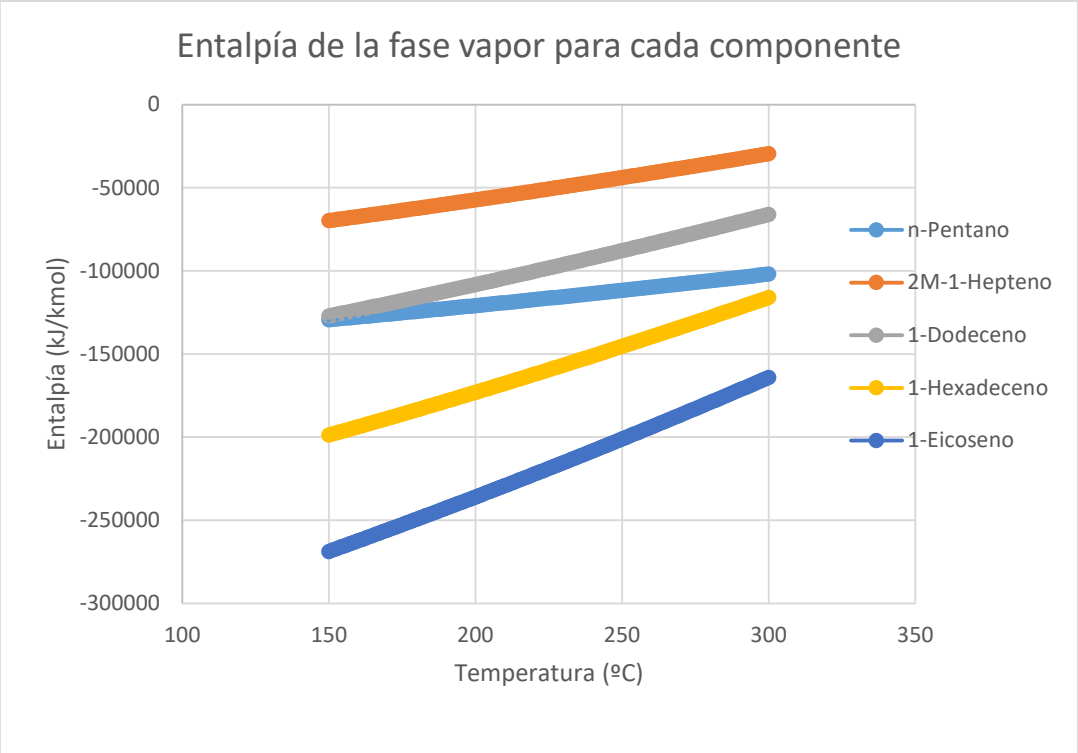


Figura 6.1 Entalpía de vapor por componente a presión atmosférica en función de la temperatura. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Aspen Plus.

Y a continuación se presentan las correspondientes rectas de ajuste:

$$H_{Hepteno} = 268{,}05T - 110.703{,}01 \quad [11]$$

$$H_{Dodeceno} = 407{,}07T - 189299{,}24 \quad [12]$$

$$H_{Pentano} = 182{,}72T - 157293{,}85 \quad [13]$$

$$H_{Hexadeceno} = 551{,}80T - 282957{,}01 \quad [14]$$

$$H_{Eicoseno} = 697{,}50T - 374973{,}39 \quad [15]$$

Las rectas de ajuste para la fase líquida serían:

$$h_{Hepteno} = 428{,}53T - 170064{,}71 \quad [16]$$

$$h_{Pentano} = 225{,}15T - 176285{,}15 \quad [17]$$

$$h_{Dodeceno} = 486{,}84T - 249873{,}36 \quad [18]$$

$$h_{Hexadeceno} = 634{,}72T - 358163{,}56 \quad [19]$$

$$h_{Eicoseno} = 785{,}60T - 464114{,}18 \quad [20]$$

Estas rectas de ajuste permitirán obtener la entalpía en función de la temperatura, de la misma manera que para los valores K. De esta manera se puede implementar la herramienta Solver de Excel para actualizar automáticamente las entalpías en función de la temperatura calculada.

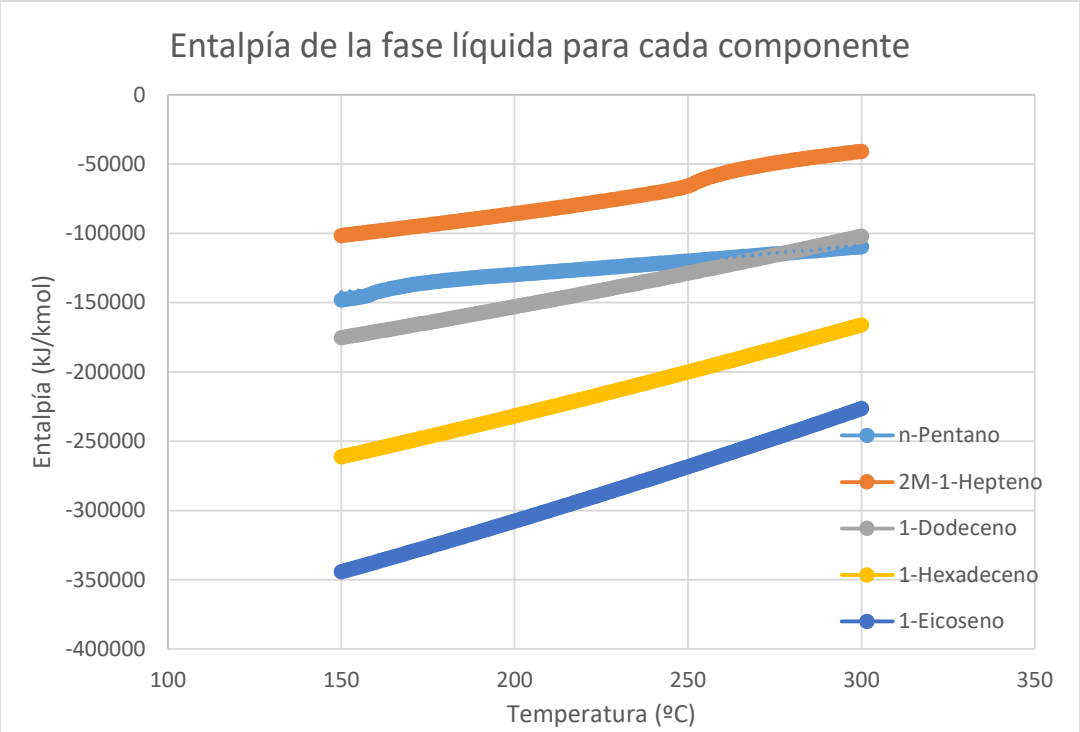


Figura 6.2 Entalpía de líquido por componente a presión atmosférica en función de la temperatura. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Aspen Plus

Caracterizando la corriente de entrada será posible calcular la condición de la alimentación a través de las entalpías de cada componente. En la Tabla 6.2 se muestra la composición y fase de la corriente de alimentación.

Tabla 6.2: Caracterización de la corriente de alimentación. Fuente: Elaboración propia.

% Fase	**100%**	**66%**	**34%**
Componente	Total	Fase Vapor	Fase Líquida
2-Metil-1-Hepteno	0,6396	0,7828	0,3637
1-Eicoseno	0,0260	0,0002	0,0758
1-Hexadeceno	0,0726	0,0035	0,2060
1-Dodeceno	0,1553	0,0583	0,3423
n-Pentano	0,1064	0,1553	0,0122
Total	**1**	**1**	**1**

Conociendo las entalpías y la presencia de cada componente en cada fase se pueden calcular los términos necesarios para calcular la condición de la alimentación. A través de las Ecuaciones [11-15], [16-20] y [10] se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 6.3:

Tabla 6.3: Entalpías y condición de la alimentación. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Aspen Hysys.

h $_{Total}$ (kJ/kmol)	-112989
H Vapor (kJ/kmol)	-79913
h Liquido (kJ/kmol)	-176756
q	0,34

6.2. Número mínimo de etapas: N_{min}

En este apartado se calculará el número mínimo de etapas de equilibrio en condiciones de reflujo total a través de dos métodos diferentes. Las conclusiones serán mostradas posteriormente.

6.2.1. Ecuación de Fenske

Fenske (1932) dedujo una ecuación para el cálculo de etapas de equilibrio mínimas en operaciones de destilación binarias y multicomponente. Como era de esperar, esta ecuación nace de suponer que las etapas están en equilibrio. Realizando balances de materia en una columna multicomponente con reflujo total se puede obtener la ecuación de Fenske [5].

$$N_m = \frac{\log \left[\frac{x_{LK}}{x_{HK}}\right]_d \left[\frac{x_{HK}}{x_{LK}}\right]_b}{\log \alpha_{LK}} \qquad [21]$$

Donde las letras representan:

- N_m: número mínimo de etapas de equilibrio en condiciones de reflujo total (incluyendo el *reboiler*)
- x: composición del componente indicado en la corriente indicada.
- α: Volatilidad relativa del clave ligero siendo el componente de referencia el clave pesado.

Y los subíndices:

- LK: Componente ligero clave.
- HK: Componente pesado clave.
- d: Corriente de producto obtenido en cabezas.
- b: Corriente de producto obtenido en colas.

La ecuación de Fenske es especialmente útil cuando las volatilidades relativas de los componentes se pueden asumir constantes a lo largo de toda la columna. Si las volatilidades varían ligeramente es apto asumir como constante la media geométrica entre la volatilidad relativa en cabezas y colas para aplicar la ecuación de Fenske [6]. Aunque en el caso de estudio las volatilidades varían notablemente, se decide calcular N_{min} a través de la Ecuación de Fenske para comparar posteriormente con el método que se decida aplicar. Se obtiene un número mínimo de etapas de:

$$N\ min = 10{,}58\ (incluyendo\ reboiler)$$

Cuando las variaciones de la volatilidad relativa no son excesivamente grandes, se puede asumir como constante la media geométrica de la volatilidad en cabezas y en colas para proceder a través de la ecuación de Fenske. Si no, existen dos maneras de calcular el número mínimo de etapas: la primera consiste en calcular el número de etapas de la sección de rectificación y de agotamiento por separado y la segunda en aplicar el Método de Winn [6].

En el caso que estamos estudiando se decide aplicar el Método de Winn ya que ofrece una mayor precisión.

6.2.2. Método de Winn

Winn propuso una modificación de la ecuación de Fenske que reconoce el efecto de la temperatura en la volatilidad relativa [6].

$$N_{min} = \frac{\ln\left[\frac{(x_{LK})_d}{(x_{LK})_b} \cdot \left(\frac{(x_{HK})_b}{(x_{HK})_d}\right)\right]^{b_{LK}}}{\ln \beta_{\frac{LK}{HK}}} \quad [22]$$

Donde cada uno de los miembros significa lo mismo que para la ecuación de Fenske y β y b se relacionan de la siguiente manera para una presión previamente fijada:

$$\beta_{\frac{LK}{HK}} = \frac{K_{LK}}{(K_{HK})^{b_{LK}}} \quad [23]$$

La ecuación de Winn se reduce a la de Fenske cuando b_{LK}=1 y por lo tanto $\beta_{LK/HK} = \alpha_{LK/HK}$.

Dado que la presión y la temperatura en cabezas y en colas es conocida, es posible plantear un sistema de dos ecuaciones para calcular b_{LK} y $\beta_{LK/HK}$. Los valores obtenidos para estas variables (utilizando los valores K calculados con las temperaturas de la Tabla 6.1) son:

$$b_{LK} = 0{,}75$$

$$\beta_{\frac{LK}{HK}} = 3{,}65$$

Ambos valores son adimensionales y a partir de ellos se puede calcular el número mínimo de etapas a través de la ecuación:

$$\beta^{n+1} = \left(\frac{L_D}{W}\right) \cdot \left(\frac{W'}{L'_D}\right)^{b} \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{1-b} \quad [24]$$

La ecuación [24] es la presentada en el Método de Winn para productos obtenidos en cabezas en estado líquido y donde cada término representa:

- B: Flujo molar en colas.
- b: Exponente presentado en la Ecuación [22].
- D: Flujo molar del producto de cabezas.
- n: Número de mínimo de platos de equilibrio en la columna.
- L: flujo molar de componente en fase líquida.
- W: Moles de producto en colas.

Y los subíndices y superíndices:

- Nada: Componente clave ligero.
- (‘): Componente clave pesado.
- D: Destilado.
- B: Colas.

Resolviendo la Ecuación [24] se obtiene que:

$$n + 1 = 6{,}65 \cong 7 \rightarrow Número\ mínimo\ de\ etapas\ (incluyendo\ reboiler)$$

$$n = 5{,}65 \cong 6 \rightarrow número\ mínimo\ de\ platos$$

Esto supone un 59% de desviación en el número mínimo de etapas calculadas respecto a la Ecuación de Fenske.

6.2.3. Simulación en Aspen Hysys

Para comparar los resultados obtenidos con los cálculos manuales se realizará el *shortcut* de la columna que se pretende diseñar en Aspen Hysys. El número mínimo de platos que se obtiene a través de la simulación es:

$$n = 5{,}7 \cong 6 \rightarrow Número\ mínimo\ de\ platos$$

Por lo tanto, el número mínimo de etapas sería:

$$n + 1 = 6{,}7 \cong 7 \rightarrow Número\ mínimo\ de\ etapas\ (incluyendo\ reboiler)$$

6.2.4. Conclusiones

Se concluye que el Método de Winn, cuyos resultados coinciden con la simulación en Aspen Hysys, ofrece el mejor resultado respecto al cálculo del número mínimo de etapas.

6.3. Relación de reflujo mínima: $(L/D)_{min}$

Es el valor mínimo de reflujo externo que puede ser utilizado para obtener una separación especificada. No se puede alterar y es muy útil a la hora de establecer el reflujo más operable y económico. Aunque el rango de operabilidad para sistemas de hidrocarburos está de 1,2 a 2 veces el reflujo mínimo, hay que tener cuenta que un mayor reflujo aumenta el tamaño de la columna y de los equipos asociados (condensador y *reboiler*) [6].

En condiciones de reflujo mínimo, las regiones en las que el número de platos se aproxima a infinito (llamadas zonas *pinch*) dependen del número de componentes y de la adyacencia de los componentes clave. En sistemas de más de cuatro componentes es habitual que haya una zona *pinch* en la sección de rectificación y otra en la de agotamiento [6].

6.3.1. Método Algebraico de Underwood

Para determinar el reflujo mínimo se utilizará el Método Algebraico de Underwood para sistemas multicomponente con componentes clave adyacentes y volatilidades relativas variables. Este método consiste en lo siguiente:

1. Asumir $(L/D)_{min}$ y determinar las temperaturas *pinch* a través del método de Colburn [6].

2. A esta temperatura, evaluar α a la temperatura del *pinch* y α a la temperatura de cabezas, obteniendo una media geométrica entre ambas. Como alternativa, Shiras [7] propone un método de cálculo que ofrece resultados aceptables cuando se compara a los cálculos de la temperatura del *pinch:*

$$T_{media} = \frac{D \cdot T_{cabezas} + B \cdot T_{colas}}{F} \qquad [25]$$

Donde:

- D: Flujo molar de destilado.
- B: Flujo molar de producto de colas.
- F: Flujo molar de alimentación.
- $T_{cabezas}$: Temperatura en el condensador.

- T_{colas}: Temperatura en el *reboiler*.

3. Determinar el valor de θ utilizando la temperatura calculada en el paso 2 a través de la ecuación [26]:

$$1 - q = \sum \frac{x_{Fi}}{1 - \frac{\theta}{\alpha_i}} \qquad [26]$$

Donde:

- q: Condición de la alimentación.
- X_{Fi}: Composición molar del componente *i* en la alimentación.
- Θ: Constante de Underwood.
- α_i: Volatilidad relativa del componente *i* respecto al clave pesado

4. Recalcular $(L/D)_{min}$ a través de la ecuación:

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{min} + 1 = \sum \frac{(\alpha_i \cdot x_i)_D}{\alpha_i - \theta} \qquad [27]$$

Donde los miembros significan lo mismo que en la ecuación X excepto el subíndice D que denota la corriente de destilado.

Una vez el reflujo mínimo calculado satisfaga la tolerancia impuesta sobre el reflujo mínimo supuesto, el procedimiento se dará por finalizado. Se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 6.4:

Tabla 6.4: Cálculo iterativo del reflujo mínimo. Fuente: elaboración propia.

Iteración	Tita	(L/D)min calculado
1	1,26	0,05
2	1,24	0,08
3	1,24	0,08
4	1,24	0,08

6.3.2. Método de Colburn: Determinación de temperaturas pinch

Las temperaturas de las zonas *pinch*, tanto la de rectificación como de agotamiento, han de ser determinadas para poder aplicar el método algebraico de Underwood. En la referencia bibliográfica [6] se describe el procedimiento detallado, aunque en este caso no es necesario porque vamos a asumir de partida una relación de reflujo mínima. Por lo tanto, para la relación de reflujo obtenida en cada relación, la secuencia de resolución es la siguiente:

1. A partir de la relación de reflujo asumida se calcula la relación:

$$\left(\frac{L_r}{V_r}\right)_{min} = \frac{1}{1 + \left(\frac{D}{L_r}\right)_{min}} \quad [28]$$

Donde:

- L: Caudal molar de líquido.
- V: Caudal molar de vapor
- D: Caudal molar de destilado.

Y el subíndice:

- r: Referente a la sección de rectificación.

2. Una vez calculados L_r y V_r se calcula de forma directa el caudal de vapor y de líquido en la sección de agotamiento:

$$L_s = L_r + q \cdot F \quad [29]$$

$$\frac{V_r - V_s}{F} = 1 - q \quad [30]$$

Donde:

- L: Caudal molar de líquido.
- V: Caudal molar de vapor
- F: Caudal molar de alimentación.
- q: Condición de la alimentación.

Y el subíndice:

- s: Hace referencia a la sección de agotamiento (*stripping).*

3. En la sección de rectificación se cumple que:

$$1 = \sum_{i=HK,LK,LNK} \frac{D \cdot x_{Di}/V_r}{K_i - \left(\frac{L_r}{V_r}\right)} \quad [31]$$

4. En la sección de agotamiento se cumple que:

$$1 = \sum_{i=HK,HNK,LK} \frac{B \cdot x_{Bi}/V_s}{\left(\frac{L_s}{V_s}\right) - K_i} \quad [32]$$

Conociendo las variables calculadas en los pasos 1 y 2 se puede implementar la herramienta Solver en una hoja de cálculo de Excel para calcular la temperatura a través de los valores K que satisfagan las igualdades de los pasos 3 y 4.

En el paso 2 del método algebraico de Underwood se utilizará la temperatura media geométrica entre las temperaturas obtenidas para la zona *pinch* de rectificación y de agotamiento. Si hubiera sólo una zona pinch sería correcto utilizar la temperatura de cabezas para hacer dicha media, pero en este caso hay dos.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5: Resumen de las temperaturas pinch calculadas en cada iteración. Fuente: elaboración propia.

Iteración	L/Dmin asumido	T_{pinch} rectificación (ºC)	T_{pinch} agotamiento (ºC)
1	0,50	105,18	285,14
2	0,05	162,24	286,76
3	0,08	164,18	286,56
4	0,08	164,24	286,55

Se concluye que el reflujo mínimo necesario tiene un valor de 0,08 al obtener un error menor que la tolerancia admitida en la cuarta iteración.

6.3.3. Simulación en Aspen Hysys

A través del *shortcut* calculado anteriormente para la columna que se pretende diseñar se obtiene que el reflujo mínimo es:

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{min} = 0{,}024$$

Aunque se aleja más de lo deseado del valor calculado manualmente, se encuentran en el mismo orden de magnitud y, a efectos prácticos, la diferencia es aceptable.

6.3.4. Conclusiones

A pesar de que, como ya se comentó anteriormente, el margen operativo está entre 1,2 y 2 veces el reflujo mínimo, en este caso se optará por una solución de ingeniería diferente. Una relación de reciclo tan baja dará lugar a complicaciones hidráulicas dentro de la columna (se ha comprobado a través de la simulación) por lo que será necesario aumentarla. A través del estudio de la simulación se ha llegado a la conclusión de que la relación de reflujo mínima que se utilizará es de 0,5. Esta opción, aceptada por REPSOL, permite mantener un comportamiento hidráulico correcto dentro de la columna a la vez que utilizar un diámetro nominal dentro de los valores habituales (utilizando la relación calculada el diámetro sería muy pequeño y aumentaría los costes de construcción). Aunque la relación de reflujo podría ser mayor, esto encarecería el coste de construcción y de operación de los equipos asociados (mayor tamaño y mayor consumo energético) por lo que se ha optado por una solución de compromiso entre operabilidad y costes.

6.4. Número de etapas requerido para el reflujo actual

En las secciones previas se ha calculado el número mínimo de etapas y la relación de reflujo mínimo que permite alcanzar la separación deseada. Así mismo, se ha establecido el reflujo que se utilizará en estado estacionario como una solución de compromiso entre criterios de operabilidad y criterios económicos.

En esta sección se calculará el número de etapas necesarias para satisfacer la separación utilizando la relación de reflujo que ha sido fijada. Para ello se utilizará una correlación presentada en 1961 por Erbar y Maddox que permite calcular el número de platos necesarios para un reflujo dado. [5]

6.4.1. Correlación Erbar-Maddox para el cálculo del número de etapas.

Esta correlación (mostrada en la Figura 6.3) permite calcular el número de etapas actual una vez conocido el reflujo mínimo, el reflujo actual y el número mínimo de etapas. Está basada en el cálculo de reflujo mínimo a través del método de Underwood, de modo que será posible utilizarlo en este caso [5].

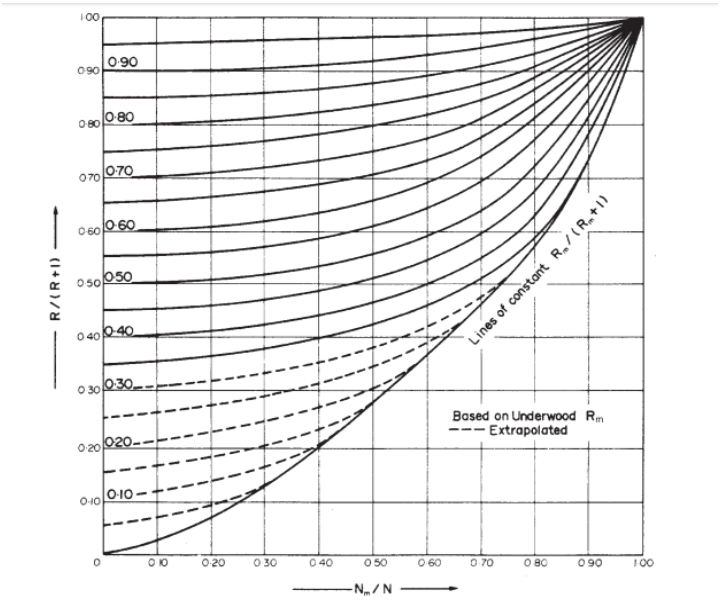


Figura 6.3 Correlación Erbar-Maddox con las líneas trazadas para la solución adoptada. Fuente: [5]

En primer lugar, se calcula el término representado en el eje de ordenadas:

$$R = relación\ de\ reflujo\ actual = 0{,}5$$

$$\frac{R}{R+1} = 0{,}3\hat{3}$$

En segundo lugar, se calcula el término representado en las curvas de la gráfica:

$$R_m = relación\ de\ reflujo\ mínima = 0{,}08$$

$$\frac{R_m}{R_m+1} = 0{,}07$$

Se obtiene que:

$$\frac{N_m}{N} = 0{,}55$$

Y, por lo tanto:

$$N = 10{,}23 \cong 11\ platos$$

Como el dato que se ha utilizado para realizar el cálculo anterior es el número mínimo de platos calculado a través del método de Winn, será necesario sumar la etapa de equilibrio correspondiente al *reboiler*. Esto representaría un total de 12 etapas de equilibrio.

En caso de realizar el cálculo teniendo en cuenta el reboiler, el resultado sería:

$$N = 12{,}09 \cong 13\ etapas\ de\ equilibrio$$

Lo que correspondería con 12 platos a lo largo de la columna.

6.4.2. Simulación en Aspen Hysys

La simulación en Aspen Hysys ofrece un número de 10 platos en las condiciones de reflujo y recuperación de productos necesarios.

6.4.3. Conclusiones

Dado que ninguno de los datos obtenidos es notablemente diferente, se esperará un número de platos para la columna entre 10 y 12. Estos resultados se contrastarán posteriormente con el diseño riguroso.

6.5. Localización del plato de alimentación

Una de las limitaciones de la correlación de Erbar-Maddox es que no ofrece información sobre el plato de alimentación. La localización del *feed point* se podría calcular a través de la ecuación de Fenske (o Winn en este caso) pero no sin antes conocer una temperatura aproximada del plato en cuestión [6].

6.5.1. Ecuación de Kirkbride

Existe una correlación empírica presentada por Kirkbride en 1944 a través de la cual se puede calcular el número de platos de la sección de rectificación y agotamiento, lo que permite localizar el plato de alimentación [5]. La ecuación es la siguiente:

$$\log\left[\frac{N_r}{N_s}\right] = 0.206 \cdot \log\left[\left(\frac{B}{D}\right) \cdot \left(\frac{x_{f,HK}}{x_{f,LK}}\right) \cdot \left(\frac{x_{b,LK}}{x_{d,HK}}\right)^2\right] \qquad [33]$$

Donde los términos corresponden a:

- N: número de etapas.
- B: Caudal molar de producto de colas.
- D: Caudal molar de producto de cabezas.
- X: Composición

Y los subíndices hacen referencia a:

- r: Sección de rectificación.
- s: Sección de agotamiento.
- f: Alimentación
- LK: Componente clave ligero.
- HK: Componente clave pesado.

Solucionando se obtiene:

$$\frac{Nr}{N_s} = 0{,}4$$

Que resolviendo conjuntamente con la ecuación [34]:

$$N = N_r + N_s \quad [34]$$

Se obtiene que para el caso en el que son necesarias 12 etapas:

$$N_r = 2{,}92$$

$$N_s = 7{,}31$$

$$N_{alimentacion} = 3$$

Y para el caso en el que son necesarias 13 etapas:

$$N_r = 3{,}44$$

$$N_s = 8{,}61$$

$$N_{alimentación} = 4$$

6.5.2. Simulación en Aspen Hysys

Según la simulación realizada en Aspen Hysys el plato de alimentación corresponde a:

$$N_{alimentacion} = 4$$

6.5.3. Conclusiones

El plato de alimentación oscila entre el tercer y el cuarto plato comenzando desde la parte superior de la columna. En el diseño riguroso se discutirán los resultados y la solución adoptada.

6.6. Resumen de resultados

En esta sección se mostrarán, en concreto en la Tabla 6.6, todos los resultados obtenidos a través de los métodos simplificados

Tabla 6.6: Resumen de resultados obtenidos a través de métodos simplificados. Fuente: elaboración propia.

N_{min}	7
$(L/D)_{min}$	0,08
(L/D)	0,5
N	12-13
N_r	3-4
N_s	8-9
$N_{alimentacion}$	3-4

7. Diseño riguroso

En la sección previa se hicieron diversos cálculos, relativamente simples, que aportan información sobre algunas características necesarias para el diseño de la torre. No obstante, a pesar de que la información obtenida es fiable, no es suficiente para alcanzar el grado de diseño que se desea.

7.1. Introducción

Antes de la aparición de los ordenadores como herramienta de trabajo (antes de, aproximadamente, los años 50) los cálculos para el diseño de columnas de destilación se hacían a mano. Aunque existían algunos métodos rigurosos, éstos solo eran viables para columnas de pequeño tamaño. La principal herramienta de diseño eran los métodos *shortcut* y la forma de luchar contra la inexactitud que ofrecen era el sobredimensionamiento [2].

Los métodos rigurosos describen el funcionamiento de la columna en estado estacionario como un conjunto de ecuaciones que permiten calcular las condiciones de operación. Estas ecuaciones se conocen como MESH debido a que son las siglas de cada conjunto de ecuaciones que describe el sistema [2]:

- *Material:* Ecuaciones que describen los flujos de materia, globales y por componente.
- *Equilibrium:* Describen el equilibrio termodinámico. Son, por ejemplo, los cálculos del punto de burbuja y de rocío.
- *Summation:* Hacen referencia a las restricciones de composiciones.
- *Heat:* Ecuaciones que definen el balance energético.

La solución se alcanza cuando todas las ecuaciones MESH se ven satisfechas.

7.2. Balances por etapa y ecuaciones MESH

Los balances de materia y de energía pueden ser descritos para cada etapa correspondiente al proceso. En la Figura 7.1 se muestran los flujos de materia en un esquema típico que describe una etapa *n* del proceso [2].

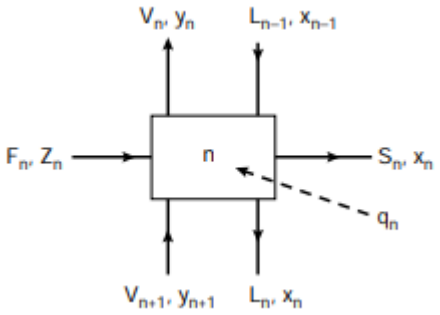


Figura 7.1 Flujos de materia en una etapa n de la columna multicomponente. Fuente: [5]

El balance de materia se puede expresar como:

$$V_{n+1} \cdot y_{n+1} + L_{n-1} \cdot x_{n-1} + F_n \cdot z_n = V_n \cdot y_n + L_n \cdot x_n + S_n \cdot x_n \qquad [35]$$

De la misma manera, el balance de energía se expresaría como:

$$V_{n+1} \cdot H_{n+1} + L_{n-1} \cdot h_{n-1} + F \cdot h_f + q_n = V_n \cdot H_n + L_n \cdot h_n + S_n \cdot h_n \qquad [36]$$

Donde:

- V_n: Flujo de vapor correspondiente a la etapa.
- V_{n+1}: Flujo de vapor que entra a la etapa desde la etapa siguiente.
- L_n: Líquido correspondiente a la etapa.
- L_{n-1}: Líquido que entra a la etapa desde la etapa anterior.
- F_n: Flujo de alimentación a la etapa.

- S_n: Flujo de cualquier corriente lateral que se extraiga en la etapa.
- q_n: Flujo de caor introducido o retirado de la etapa.
- n: Cualquier etapa (comenzando a numerar desde la parte superior de la columna).
- z: Fración molar del componente *i* en la alimentación.
- x: fracción molar del componente *i* en las corrientes líquidas.
- y: Fracción molar del componente *i* en las corrientes de vapor.
- H: Entalpía específica de la fase vapor.
- h: Entalpía específica de la fase líquida.
- h_f: Entalpía específica de la alimentación (puede ser bifásica).

Através de estas ecuaciones estarían descritos los balances de materia y energía (**M**ES**H**) que tienen lugar en cada etapa de la columna.

Para realizar los balances es necesario tener en cuenta el equilibrio termodinámico y asumir que se cumple en cada etapa. De esta manera, podemos asumir que el líquido y el vapor que abandonan una etapa se encuentran en equilibrio y por lo tanto se pueden relacionar a través de la ecuación [1], que mostrándola de nuevo sería:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} \qquad [1]$$

Una vez definido el equilibrio (**ME**S**H**), basta con tener en cuenta la cuarta relación. Comprobando que la suma (*summation*) de las composiciones del líquido y el vapor forman la unidad:

$$\sum x_{i,n} = \sum y_{i,n} = 1 \qquad [37]$$

A través de las ecuaciones MESH [34, 35, 1, 37] se considera definido el sistema multicomponente y se puede proceder al diseño riguroso de la columna de destilación.

A menudo se denominan las variables implicadas en las ecuaciones MESH como variables de estado. Estas son:

- T_n: La temperatura de cada etapa.
- V_n y L_n: Flujos molares internos totales.
- $x_{i,n}$ e $y_{i,n}$: Composiciones de cada componente en la fase líquida y vapor, respectivamente.

7.3. Métodos rigurosos

En esta sección se describirán de forma breve algunos métodos aplicables al diseño riguroso de una columna de destilación.

- Método Lewis-Matheson: Es un método manual que se basa en la aplicación del método Lewis-Sorel a la solución de sistemas multicomponente. Se asume CMO y tanto los balances de materia, de energía y las relaciones de equilibrio se van resolviendo secuencialmente en cada etapa comenzando desde el condensador y el *reboiler* hasta llegar al plato de alimentación [5].

- Método Thiele-Geddes: Se trata de un método manual en el que se parte de la asunción de los perfiles de flujo y temperatura a lo largo de la columna. Posteriormente se resuelven las ecuaciones en cada etapa y, tras revisar los perfiles de temperatura obtenidos, se procede a la siguiente iteración [5].
- Métodos de relajación: Más indicado para diseño de columnas que operan en discontinuo. Permite realizar cálculos para estado no estacionario por lo que es bastante útil a la hora de calcular puestas en marcha y la evolución que presenta la columna mientras se alcanza el estado estacionario [5].
- Métodos de álgebra lineal: Se basan en la resolución simultánea de las ecuaciones MESH. Puede realizarse forma algebraica y matricial, aunque es necesaria la programación de una computadora para poder llevarlos a cabo. Estos métodos son los utilizados por los programas de simulación de proceso y ofrecen resultados muy fiables con pocas iteraciones [5].

7.4. Justificación del método utilizado

Para la resolución de la fraccionadora T-202 se utilizará el método Lewis-Matheson. A pesar de que los métodos computacionales de álgebra lineal son más eficientes, el procedimiento que se realiza de forma manual es mucho más ilustrativo y permite analizar todo lo que ocurre a lo largo de la columna a medida que se realizan los cálculos.

Los cálculos realizados se verán posteriormente comparados con los resultados obtenidos en la simulación con Aspen Hysys para evaluar el nivel de desviación.

7.5. Método Lewis-Matheson

Este método fue publicado en 1932 y está relacionado con el Thiele-Geddes. Las distribuciones de los componentes LNK y HNK son especificadas y se realiza el cálculo etapa por etapa empezando por el condensador hasta encontrar el plato de alimentación. Una vez encontrado, se comienza el cálculo etapa a etapa desde el *reboiler* hasta alcanzar el plato de alimentación. Si las composiciones en el plato de alimentación no coinciden será necesario ajustar de nuevo las composiciones supuestas en las corrientes de productos y realizar los cálculos de nuevo [2].

Para poder aplicar el método es necesario tener definidas las siguientes variables:

- Composición, flujo y condición de la alimentación.
- Distribución de los componentes clave.
- El flujo de alguno de los productos.
- Relación de reflujo
- Presión de operación (asumida constante).
- Estimación de la distribución de los componentes no clave.

Existen dos problemas referentes a este método: el primero es que la convergencia no es demasiado buena para mezclas que tienen puntos de ebullición muy distantes (como es el caso) debido a la complicación para realizar una buena estimación de la distribución de los componentes. La segunda es que es difícil decidir cuál es el criterio de coincidencia en el plato de alimentación [2].

A pesar de estas dificultades se utilizará este método ya que es muy ilustrativo.

7.5.1. Distribución de los componentes en las corrientes de productos: Método de Hengstebeck

Como ya se ha comentado, es necesario realizar una estimación de la distribución de los componentes no clave en las corrientes de productos. La suposición que se realizó durante los métodos *shortcut* (todos los LNK se obtienen por cabezas y los HNK por colas) no es válida ya que es necesario tener valores de las composiciones, por pequeños que sean, para poder realizar los cálculos.

El principal problema en este punto es definir qué cantidad de componente no clave está en cada corriente. Está claro que la presencia de LNK en la corriente de colas será muy pequeña, pero eso puede significar un orden de 10^{-5} o de 10^{-20}. La convergencia en el plato de alimentación dependerá en gran medida de esta estimación y por eso es importante realizarla correctamente.

El método de Hengstebeck, presentado en 1946, es un método gráfico que permite estimar la distribución de los componentes no clave a través de una modificación de la ecuación de Fenske [38]. Esta ecuación también se puede expresar de la manera:

$$\log\left(\frac{D_i}{B_i}\right) = A + C \cdot \log \alpha_i \qquad [38]$$

Esto permite calcular las constantes A y C a partir de la distribución de los componentes clave, que se representaría frente a su volatilidad relativa.

La volatilidad para la primera iteración se calcula a la temperatura de burbuja de la corriente de alimentación, que ofrece una aproximación grosera de las temperaturas que se obtendrán en la columna (y más en el caso que se estudia, en el que la alimentación está parcialmente vaporizada). Una vez obtenidas las composiciones a través de la primera iteración, se calcula el punto de rocío de la corriente de cabezas y el punto de burbuja de la corriente de colas, utilizando la media geométrica de ambas temperaturas para calcular la volatilidad en la siguiente iteración.

A través de la Ecuación [9] se obtiene un punto de burbuja para la corriente de alimentación de 103,14 °C. En la Tabla 7.1 se muestran los flujos de los componentes clave (calculadas a través de la recuperación deseada de cada compuesto) y las volatilidades a la temperatura de burbuja de la alimentación.

Tabla 7.1: Cálculo de composiciones utilizadas para representación gráfica de Hengstebeck en la primera iteración. Fuente: Elaboración propia.

Componente	**K_i**	**α_i**	**F_i (kmol/h)**	**D_i (kmol/h)**	**B_i (kmol/h)**	**$\log(D_i/B_i)$**	**$\log(\alpha_i)$**
1-Dodeceno	0,03	16,63	6,85	6,84	0,01	3,00	1,22
1-Hexadeceno	0,002	1,00	3,20	0,003	3,20	-3,00	0,00

De esta manera, se obtiene la recta de regresión de la Figura 7.2:

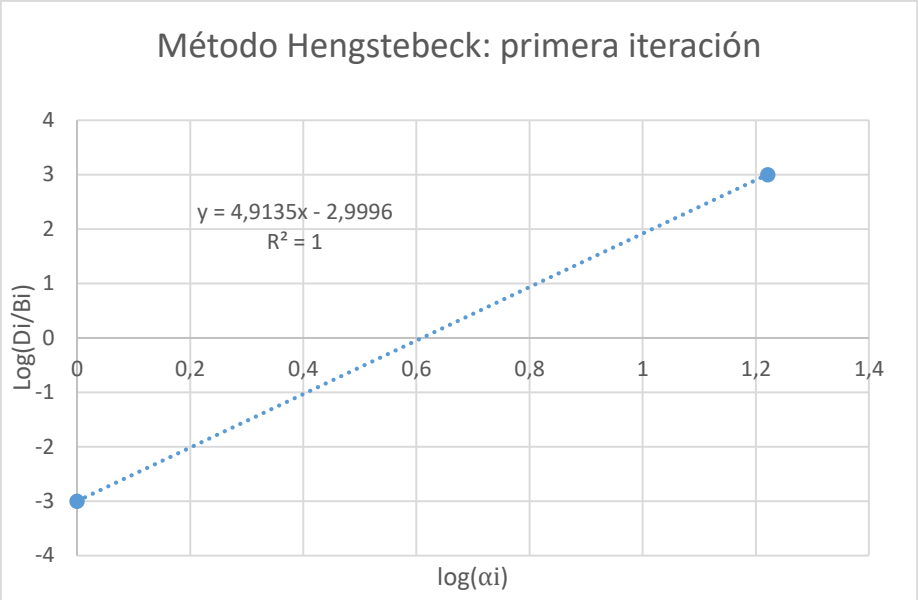


Figura 7.2 Representación gráfica de Hengstebeck para la primera iteración. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la recta obtenida sería:

$$\log\left(\frac{D_i}{B_i}\right) = -2.9996 + 4{,}9135 \cdot \log(\alpha_i) \qquad [39]$$

Siendo las constantes de Hengstebeck para la primera iteración:

$$A = -2{,}9996$$

$$B = 4{,}9135$$

Conociendo esta relación, es posible calcular la composición de las corrientes de salida a través de un balance de materia global en la columna. En la Tabla 7.2 se muestran los resultados:

Tabla 7.2: Distribución de los componentes, primera iteración. Fuente: Elaboración propia.

Componente	**X_{Di}**	**X_{Bi}**
n-Pentano	0,12	9,32E-15
2-Metil-1-Hepteno	0,71	$2{,}20 \cdot 10^{-9}$
1-Dodeceno	0,17	$1{,}57 \cdot 10^{-3}$
1-Hexadeceno	$8{,}06 \cdot 10^{-5}$	0,74
1-Eicoseno	$5{,}14 \cdot 10^{-11}$	0,26
TOTAL	**1**	**1**

A través de las Ecuaciones [8] y [9] se calculan los puntos de rocío y de burbuja de las corrientes de productos con las composiciones previamente calculadas. Se obtiene:

$$T_{Rocío,D} = 159{,}08\ ℃$$

$$T_{Burbuja,B} = 293{,}56\ ℃$$

Para la siguiente iteración, las volatilidades se calculan utilizando la media geométrica de las temperaturas obtenidas, que sería de 216,10 ºC. En la Tabla 7.3 se muestran los flujos molares de los componentes clave y las volatilidades a la temperatura mencionada.

Tabla 7.3: Cálculo de composiciones utilizadas para representación gráfica de Hengstebeck en la segunda iteración. Fuente: Elaboración propia.

Componente	**K_i**	**α_i**	**F_i (kmol/h)**	**D_i (kmol/h)**	**B_i (kmol/h)**	**$\log(D_i/B_i)$**	**$\log(\alpha_i)$**
1-Dodeceno	1,08	5,57	6,85	0,003	3,20	3,00	0,75
1-Hexadeceno	0,19	1,00	3,20	$2{,}38\cdot10^{-9}$	1,15	-3,00	0

La representación gráfica, realizada de la misma manera que para el caso anterior, se muestra en la Figura 7.3.

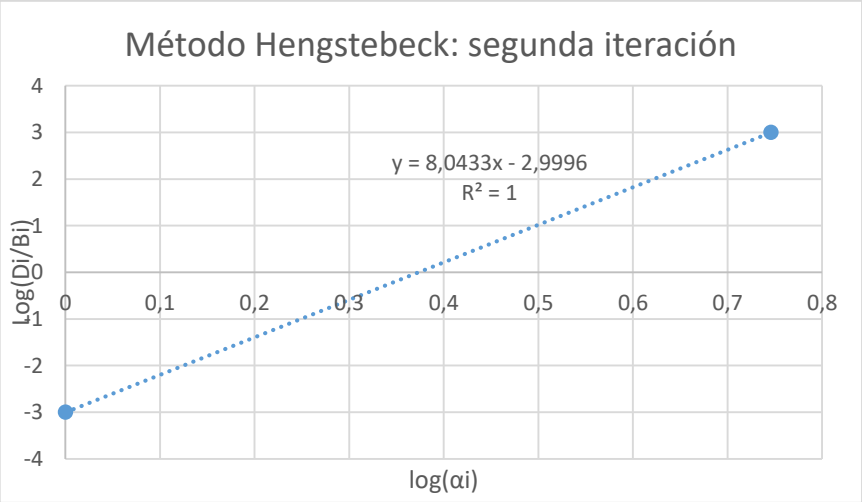


Figura 7.3 Representación gráfica de Hengstebeck para la segunda iteración. Fuente: Elaboración propia.

Las constantes de Hengstebeck para la segunda iteración:

$$A = -2{,}9996$$

$$B = 8{,}0433$$

En la Tabla 7.3 se muestran todas las composiciones obtenidas para la segunda iteración:

Tabla 7.3: Distribución de los componentes, segunda iteración. Fuente: Elaboración propia.

Componente	**X_{Di}**	**X_{Bi}**
n-Pentano	$0{,}12$	$9{,}37\cdot10^{-15}$
2-Metil-1-Hepteno	0,71	$2{,}83\cdot10^{-9}$
1-Dodeceno	0,17	$1{,}57\cdot10^{-3}$
1-Hexadeceno	$8{,}06\cdot10^{-5}$	0,74
1-Eicoseno	$5{,}98\cdot10^{-11}$	0,26
TOTAL	**1**	**1**

Recalculando las temperaturas de rocío y burbuja se comprueba que la variación es ínfima y se da por finalizado el proceso iterativo.

7.5.2. Estrategia de cálculo plato por plato

Como ya se ha explicado en las secciones anteriores, la imposibilidad de asumir que todos los LNK se obtienen por cabezas y los HNK por colas hace necesario estimar la distribución de los componentes no clave en cada una de las corrientes de productos. También se ha explicado la relevancia de hacer una buena estimación para lograr la convergencia en el plato de alimentación, por lo que en esta sección se mostrará el cálculo plato por plato para dos composiciones de corrientes de productos: la primera será la obtenida a partir del método gráfico de Hengstebeck y la segunda será la obtenida a partir de la simulación en Aspen Hysys. Posteriormente se compararán los resultados obtenidos con los de la simulación.

7.5.3. Cálculo plato por plato: Estimación de composiciones a través de Hengstebeck

Las variables que han de ser previamente especificadas para poder aplicar el método se resumirán a continuación.

La caracterización de la corriente de alimentación se muestra en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4: Caracterización de la corriente de alimentación. Fuente: Elaboración propia.

Componente	**F_i (kmol/h)**	**$X_{i,total}$**	**y_i**	**x_i**	**q**
n-Pentano	4,69	0,11	0,16	0,01	0,34
2-Metil-1-hepteno	28,20	0,64	0,78	0,36	
1-Dodeceno	6,85	0,16	0,06	0,34	
1-Hexadeceno	3,20	0,07	0,003	0,21	
1-Eicoseno	1,15	0,03	0,0002	0,08	
TOTAL	**44,08**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	

La caracterización de la corriente obtenida por cabezas se muestra en la Tabla 7.5:

Tabla 7.5: Caracterización de la corriente de producto obtenido en cabezas. Fuente. Elaboración propia.

Componente	**D_i**	**$X_{D,i}$**	**$T_{rocío}$ (ºC)**
n-Pentano	4,69	0,12	159,08
2-Metil-1-Hepteno	28,20	0,71	
1-Dodeceno	6,84	0,17	
1-Hexadeceno	0,003	$8{,}06\cdot10^{-5}$	
1-Eicoseno	$2{,}38\cdot10^{-9}$	$5{,}98\cdot10^{-11}$	
TOTAL	**39,73**	**1,00**	

La caracterización de la corriente de colas se muestra en la Tabla 7.6:

Tabla 7.6: Caracterización de la corriente de producto obtenido por colas. Fuente: Elaboración propia.

Componente	**B_i**	**x_{Bi}**	**$T_{burbuja}$ (ºC)**
n-Pentano	4,08E-14	9,37E-15	293,56
2-Metil-1-Hepteno	$1{,}23\cdot10^{-8}$	$2{,}83\cdot10^{-9}$	
1-Dodeceno	0,007	0,002	
1-Hexadeceno	3,20	0,74	
1-Eicoseno	1,15	0,26	
TOTAL	**4,35**	**1,00**	

En la Tabla 7.7 se muestra la caracterización total del problema para ser resuelto a través del método Lewis Matheson:

Tabla 7.7: Variables necesarias para aplicar el método Lewis-Matheson. Fuente: Elaboración propia.

Alimentación	Ver Tabla 7.4
Producto de cabezas	Ver Tabla 7.5
Producto de colas	Ver Tabla 7.6
(L/D)	0,5
P (atm)	1

Sección de rectificación

En primer lugar, habrá que realizar los cálculos pertinentes a la sección de rectificación. Una vez encontrado el plato de alimentación, se comenzará con la parte correspondiente a la sección de agotamiento.

Algoritmo de resolución

La secuencia de resolución para la etapa de rectificación será la siguiente:

1. Conociendo la composición del vapor presente en la etapa, calcular la temperatura de rocío a través de los valores K de cada componente.
2. Una vez conocidos los valores K, calcular la composición del líquido en equilibrio con el vapor que abandona la etapa (que coincidirá con la composición del líquido que entra en la siguiente etapa).
3. Utilizando la composición del líquido que abandona la etapa, calcular la composición del vapor que abandonó la etapa siguiente a través de la recta de operación (que se asumirá constante en cada sección.
4. Continuar el procedimiento únicamente calculando temperaturas y composiciones hasta encontrar el plato de alimentación. Se establecerá el plato de alimentación como aquel en el que la relación LK/HK sea igual o menor que la de la alimentación.
5. Una vez conocido el plato de alimentación y calculadas las temperaturas y composiciones se calculan los flujos de líquido y vapor en la etapa correspondiente a través de los balances de materia y energía (Ecuaciones [35] y [36]).

Condensador total

En primer lugar, habrá que realizar un balance de materia en el condensador para calcular el flujo molar de líquido y vapor que está presente en la sección de rectificación. Esto permitirá plantear la recta de operación de cabezas (que se supondrá constante a lo largo de toda la sección) y, a través de ella, calcular la composición del vapor proveniente de la siguiente etapa.

Dado que el condensador es total, la composición del líquido que se realimenta a la torre es igual a la composición del líquido que se obtiene como producto por cabezas y, a su vez, igual a la composición del vapor que abandona la primera etapa.

Utilizando como referencia el esquema simplificado de la Figura 5.2 se realiza un balance de materia en el condensador. Se obtienen las siguientes ecuaciones (para el balance total y por componente):

$$V_1 = L_o + D$$

$$V_1 \cdot y_1 = L_o \cdot x_o + D \cdot x_o$$

$$y_1 = x_o$$

Dónde:

- V_1: Caudal de vapor que abandona la primera etapa (contando desde la parte superior de la torre).
- L_o: Caudal de líquido realimentado a la torre.
- x_o: Composición del producto de cabezas
- y_1: Composición del vapor que abandona la primera etapa.

A través de la relación de reflujo (mostrada en la Tabla 7.7) y de la caracterización de las corrientes implicadas es posible resolver el balance:

$$D = 39{,}73 \frac{kmol}{h}$$

$$L_o = 19{,}87 \frac{kmol}{h}$$

$$V_1 = 59{,}60 \frac{kmol}{h}$$

Llegados a este punto es posible conocer la recta de operación para la sección de rectificación. Esta relación será asumida constante (aunque en realidad no lo es, pero el error es soportable) y valdrá para calcular la composición del vapor proveniente de la etapa siguiente a la actual.

Dicha recta de operación (expresada en función de la composición del vapor) sería:

$$y_{i,N+1} = \frac{L}{V} \cdot x_{i,N} + \left(1 - \frac{L}{V}\right) x_{i,D} \qquad [40]$$

Donde:

- L: Caudal molar de líquido en la sección de rectificación.
- V: Caudal molar de vapor en la sección de rectificación.
- $y_{i,N+1}$: Fracción molar del componente *i* en la corriente de vapor proveniente de la etapa N+1.
- $x_{i,N}$: Fracción molar del componente *i* en la corriente de líquido que abandona la etapa N.
- $x_{i,D}$: Fracción molar del componente *i* en la corriente de líquido obtenido por la corriente de cabezas.

Primera etapa

Con los datos conocidos hasta el momento es posible comenzar los cálculos etapa a etapa. En esta sección se explicará detalladamente el procedimiento para obtener las composiciones y flujos, pero para las etapas posteriores se mostrarán solamente los resultados.

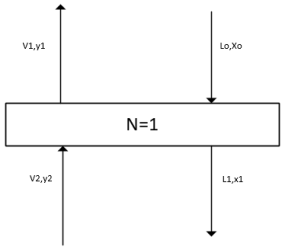


Figura 7.4: Esquema simplificado de la primera etapa de equilibrio. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7.4 se muestra un esquema simplificado de la etapa de equilibrio. Conocemos las variables suficientes como para comenzar a calcular siguiendo la secuencia de resolución. A través de la relación de equilibrio se puede conocer la composición de líquido que abandona la etapa (Ecuación [1]) y, como consecuencia, su temperatura de rocío (que será la temperatura de la etapa).

A través de la recta de operación (Ecuación [40]) se calcula la composición del vapor proveniente de la etapa posterior y se vuelve a repetir el procedimiento para la etapa siguiente hasta que la relación LK/HK sea igual o menor a la de la corriente de alimentación.

$$Criterio\ de\ parada \rightarrow Relación \frac{LK}{HK} en\ la\ fase\ líquida\ de\ la\ alimentación = 1{,}66$$

Una vez se conozca la temperatura de todos los platos se calcularán los balances de materia y energía. La razón de que sea necesario que converjan primero las temperaturas es que la entalpía depende de ellas y, por lo tanto, para realizar el balance de energía es necesario conocer la temperatura de la etapa N, la N-1 y la N+1.

Tabla 7.8: Composiciones y temperatura en la primera etapa de equilibrio. Fuente: Elaboración propia.

		T_1 (ºC)	**159,08**			
Componente	**$y_1=X_o$**	**K_i**	**x_1**	**x_{1norm}**	**y_2**	**y_{2norm}**
n-Pentano	0,12	13,68	0,01	0,01	0,08	0,08
2-Metil-1-Hepteno	0,71	2,52	0,28	0,28	0,57	0,57
1-Dodeceno	0,17	0,24	0,71	0,71	0,35	0,35
1-Hexadeceno	$8{,}06\cdot10^{-5}$	0,03	$2{,}94\cdot10^{-3}$	$2{,}94\cdot10^{-3}$	$1{,}03\cdot10^{-3}$	$1{,}03\cdot10^{-3}$
1-Eicoseno	$5{,}98\cdot10^{-11}$	0,00	$1{,}73\cdot10^{-8}$	$1{,}73\cdot10^{-8}$	$5{,}81\cdot10^{-9}$	$5{,}81\cdot10^{-9}$
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 240{,}37$$

En la Tabla 7.8 se puede observar que se normalizan los valores de las composiciones para utilizarlos en la siguiente iteración.

Aplicamos el balance de materia a través de las Ecuaciones [34] y [35]:

$$L_o + V_2 = L_1 + V_1$$

$$V_2 = L_1 + V_! - L_o$$

Podremos calcular el flujo de líquido sustituyendo V_2 en el balance de energía y calculando del valor de L_1 para el que se cumpla la igualdad:

$$h_o \cdot L_o + H_2 \cdot V_2 - h_1 \cdot L_1 - H_1 \cdot V_1 = 0$$

Que combinando las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$h_o \cdot L_o + H_2 \cdot (L_1 + V_1 - L_o) - h_1 \cdot L_1 - H_1 \cdot V_1 = 0$$

En la Tabla 7.9 se muestran las entalpías para la primera etapa de equilibrio en la sección de rectificación.

Tabla 7.9: Entalpías en la primera etapa de equilibrio de la sección de rectificación. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**Condensador**	**1**	**1**	**2**
T (ºC)	159,08	159,08	159,08	178,30
ENTALPÍA	h_o (kJ/kmol)	h_1 (kJ/kmol)	H_1 (kJ/kmol)	H_2 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-1{,}66\cdot10^{4}$	$-1{,}21\cdot10^{3}$	$-1{,}51\cdot10^{4}$	$-1{,}02\cdot10^{4}$
2-Metil-1-Hepteno	$-7{,}23\cdot10^{4}$	$-2{,}87\cdot10^{4}$	$-4{,}83\cdot10^{4}$	$-3{,}57\cdot10^{4}$
1-Dodeceno	$-2{,}97\cdot10^{4}$	$-1{,}22\cdot10^{5}$	$-2{,}14\cdot10^{4}$	$-4{,}09\cdot10^{4}$
1-Hexadeceno	-20,7	$-7{,}56\cdot10^{2}$	-15,7	$-1{,}91\cdot10^{2}$
1-Eicoseno	$-2{,}03\cdot10^{-5}$	$-5{,}87\cdot10^{-3}$	$-1{,}58\cdot10^{-5}$	$-1{,}46\cdot10^{-3}$
TOTAL	$\mathbf{-1{,}19\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}53\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-8{,}49\cdot10^{4}}$	$\mathbf{-8{,}69\cdot10^{4}}$

A través de asociaciones de celdas relativamente complejas se soluciona el balance de materia y energía en función de la temperatura utilizando la herramienta Solver, lo que permite calcular los flujos L_1 y V_2:

$$L_1 = 11{,}44\,\frac{kmol}{h}$$

$$V_2 = 51{,}17\,\frac{kmol}{h}$$

Se puede comprobar que se satisfacen todas las ecuaciones MESH para esta configuración.

A continuación, se mostrarán todos los resultados obtenidos para la sección de rectificación. Una vez alcanzado el plato de alimentación se comenzarán los cálculos para la zona de agotamiento.

Segunda etapa

En la Tabla 7.10 se mostrarán los resultados obtenidos para la segunda etapa.

Tabla 7.10: Composiciones y temperatura en la segunda etapa de equilibrio. Fuente: Elaboración propia.

		T_2 (ºC)	178,30			
Componente	y_2	K_i	x_2	$x_{2\ norm}$	y_3	$y_{3\ norm}$
n-Pentano	0,08	17,41	$4{,}69\cdot10^{-3}$	$4{,}69\cdot10^{-3}$	0,08	0,08
2-Metil-1-Hepteno	0,57	3,64	0,16	0,16	0,53	0,53
1-Dodeceno	0,35	0,43	0,82	0,82	0,39	0,39
1-Hexadeceno	$1{,}03\cdot10^{-3}$	0,06	0,02	0,02	0,01	0,01
1-Eicoseno	$5{,}81\cdot10^{-9}$	0,01	$6{,}86\cdot10^{-7}$	$6{,}86\cdot10^{-7}$	$2{,}29\cdot10^{-7}$	$2{,}29\cdot10^{-7}$
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 45{,}32$$

En la Tabla 7.11 se muestran las entalpías para cada componente en la segunda etapa.

Tabla 7.11: Entalpías en la segunda etapa de equilibri. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**1**	**2**	**2**	**3**
T (ºC)	159,08	178,30	178,30	184,12
ENTALPÍA	h_1 (kJ/kmol)	h_2 (kJ/kmol)	H_2 (kJ/kmol)	H_3 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-1{,}21\cdot10^{3}$	$-6{,}38\cdot10^{2}$	$-1{,}02\cdot10^{4}$	$-9{,}92\cdot10^{3}$
2-Metil-1-Hepteno	$-2{,}87\cdot10^{4}$	$-1{,}46\cdot10^{4}$	$-3{,}57\cdot10^{4}$	$-3{,}22\cdot10^{4}$
1-Dodeceno	$-1{,}22\cdot10^{5}$	$-1{,}34\cdot10^{5}$	$-4{,}09\cdot10^{4}$	$-4{,}44\cdot10^{4}$
1-Hexadeceno	$-7{,}56\cdot10^{2}$	$-4{,}44\cdot10^{3}$	$-1{,}91\cdot10^{2}$	$-1{,}11\cdot10^{3}$
1-Eicoseno	$-5{,}87\cdot10^{-}$-^{3}	-2,22E-01	$-1{,}46\cdot10^{-}$-^{3}	$-5{,}63\cdot10^{-2}$
TOTAL	$\mathbf{-1{,}53\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}54\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-8{,}69\cdot10^{4}}$	$\mathbf{-8{,}77\cdot10^{4}}$

$$L_2 = 11{,}83\frac{kmol}{h}$$

$$V_3 = 51{,}56\frac{kmol}{h}$$

Tercera etapa

De esta etapa en adelante sólo se mostrarán los resultados obtenidos.

Tabla 7.12: Composiciones y temperatura en la tercera etapa de equilibrio. Fuente: Elaboración propia.

		T_3 (ºC)	184,12			
Componente	y_3	K_i	x_3	$x_{3\ norm}$	y_4	$y_{4\ norm}$
n-Pentano	0,08	18,61	$4{,}31\cdot10^{-3}$	$4{,}31\cdot10^{-3}$	0,08	0,08
2-Metil-1-Hepteno	0,53	4,04	0,13	0,13	0,52	0,52
1-Dodeceno	0,39	0,50	0,78	0,78	0,37	0,37
1-Hexadeceno	0,01	0,07	0,09	0,09	0,03	0,03
1-Eicoseno	$2{,}29\cdot10^{-7}$	0,01	$2{,}10\cdot10^{-5}$	$2{,}10\cdot10^{-5}$	$6{,}99\cdot10^{-6}$	$6{,}99\cdot10^{-6}$
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 8{,}95$$

Tabla 7.13: Entalpías en la tercera etapa de equilibrio. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**2**	**3**	**3**	**4**
T (ºC)	184,12	193,63	193,63	211,37
ENTALpÍA	h_2 (kJ/kmol)	h_3 (kJ/kmol)	H_3 (kJ/kmol)	H_4 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-5{,}81\cdot10^{2}$	$-5{,}15\cdot10^{2}$	$-9{,}77\cdot10^{3}$	$-9{,}49\cdot10^{3}$
2-Metil-1-Hepteno	$-1{,}19\cdot10^{4}$	$-9{,}49\cdot10^{3}$	$-3{,}04\cdot10^{4}$	$-2{,}75\cdot10^{4}$
1-Dodeceno	$-1{,}25\cdot10^{5}$	$-9{,}13\cdot10^{4}$	$-4{,}14\cdot10^{4}$	$-3{,}20\cdot10^{4}$
1-Hexadeceno	$-2{,}10\cdot10^{4}$	$-7{,}06\cdot10^{4}$	$-5{,}12\cdot10^{3}$	$-1{,}66\cdot10^{4}$
1-Eicoseno	-6,70	$-1{,}35\cdot10^{2}$	-1,68	-32,7
TOTAL	$\mathbf{-1{,}58\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}72\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-8{,}66\cdot10^{4}}$	$\mathbf{-8{,}57\cdot10^{4}}$

$$L_3 = 10{,}31\frac{kmol}{h}$$

$$V_4 = 50{,}04\frac{kmol}{h}$$

Cuarta etapa

Tabla 7.14: Composiciones y temperatura en la cuarta etapa de equilibrio. Fuente: Elaboración propia.

		T_4 (ºC)	193,63			
Componente	y_4	K_i	x_4	$x_{4\ norm}$	y_5	$y_{5\ norm}$
n-Pentano	0,08	20,64	$3{,}88\cdot10^{-3}$	$3{,}88\cdot10^{-3}$	0,08	0,08
2-Metil-1-Hepteno	0,52	4,74	0,11	0,11	0,51	0,51
1-Dodeceno	0,37	0,64	0,59	0,59	0,31	0,31
1-Hexadeceno	0,03	0,10	0,30	0,30	0,10	0,10
1-Eicoseno	$6{,}99\cdot10^{-6}$	0,02	$4{,}31\cdot10^{-4}$	$4{,}31\cdot10^{-4}$	$1{,}44\cdot10^{-4}$	$1{,}44\cdot10^{-4}$
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 1{,}96$$

Tabla 7.15: Entalpías para cada componente en la cuarta etapa de equilibrio. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**3**	**4**	**4**	**5**
T (ºC)	184,12	193,63	193,63	211,37
ENTALpÍA	h_2 (kJ/kmol)	h_3 (kJ/kmol)	H_3 (kJ/kmol)	H_4 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-5{,}81\cdot10^{2}$	$-5{,}15\cdot10^{2}$	$-9{,}77\cdot10^{3}$	$-9{,}49\cdot10^{3}$
2-Metil-1-Hepteno	$-1{,}19\cdot10^{4}$	$-9{,}49\cdot10^{3}$	$-3{,}04\cdot10^{4}$	$-2{,}75\cdot10^{4}$
1-Dodeceno	$-1{,}25\cdot10^{5}$	$-9{,}13\cdot10^{4}$	$-4{,}14\cdot10^{4}$	$-3{,}20\cdot10^{4}$
1-Hexadeceno	$-2{,}10\cdot10^{4}$	$-7{,}06\cdot10^{4}$	$-5{,}12\cdot10^{3}$	$-1{,}66\cdot10^{4}$
1-Eicoseno	-6,70	$-1{,}35\cdot10^{2}$	-1,68	-32,7
TOTAL	$\mathbf{-1{,}58\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}72\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-8{,}66\cdot10^{4}}$	$\mathbf{-8{,}57\cdot10^{4}}$

$$L_4 = 8{,}15\frac{kmol}{h}$$

$$V_5 = 47{,}88\frac{kmol}{h}$$

Quinta etapa

Tabla 7.16: Composiciones y temperatura en la quinta etapa de equilibrio. Fuente: Elaboración propia.

		T_4 (ºC)	211,37			
Componente	y_5	K_i	x_5	$x_{5\ norm}$	y_6	$y_{6\ norm}$
n-Pentano	0,08	24,60	$3{,}25\cdot10^{-3}$	$3{,}25\cdot10^{-3}$	0,08	0,08
2-Metil-1-Hepteno	0,51	6,24	0,08	0,08	0,50	0,50
1-Dodeceno	0,31	0,97	0,32	0,32	0,22	0,22
1-Hexadeceno	0,10	0,17	0,59	0,59	0,20	0,20
1-Eicoseno	$1{,}44\cdot10^{-4}$	0,03	$4{,}47\cdot10^{-3}$	$4{,}47\cdot10^{-3}$	$1{,}49\cdot10^{-3}$	$1{,}49\cdot10^{-3}$
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 0{,}54$$

Se puede observar que en esta etapa la relación entre el componente clave ligero y el clave pesado en la fase líquida es menor que en la alimentación por lo que, a priori, la alimentación deberá localizarse entre el cuarto y el quinto plato.

Sección de agotamiento

Una vez conocido el plato de alimentación, es necesario comenzar a calcular las etapas correspondientes a la sección de agotamiento. De la misma manera que para la sección de rectificación, se comenzará calculando desde el *reboiler* y se irá subiendo (contando como primera etapa el *reboiler*) hasta el plato de alimentación.

Algoritmo de resolución

1. Conociendo la composición del líquido presente en la etapa, calcular la temperatura de burbuja a través de los valores K de cada componente.
2. Una vez conocidos los valores K, calcular la composición del vapor en equilibrio con el líquido que abandona la etapa (que coincidirá con la composición del vapor que entra en la siguiente etapa).
3. Utilizando la composición del vapor que abandona la etapa calcular la composición del líquido presente en la etapa inmediatamente posterior a través de la recta de operación (que se asumirá constante).
4. Continuar el procedimiento calculando únicamente temperaturas y composiciones hasta alcanzar el plato de alimentación.
5. Una vez alcanzado el plato de alimentación, comenzar a resolver los balances de materia y energía para conocer los flujos de líquido y vapor en cada etapa.

Primera etapa: *reboiler* parcial

Como en el caso de la sección de rectificación, será necesario realizar un balance en el *reboiler* para conocer los flujos de vapor y líquido en la sección de agotamiento y así plantear la recta de operación.

Utilizando como referencia el esquema simplificado que se muestra en la Figura 7.5 se realizan los balances correspondientes. Hay que tener en cuenta que el *reboiler* es parcial por lo que el vapor que abandone el equipo estará en equilibrio con el líquido que se obtenga por la corriente de colas. Teniendo en cuente que la corriente de alimentación está parcialmente vaporizada:

$$L' = L_o + q \cdot F$$

$$L' = 34{,}92 \frac{kmol}{h}$$

Y realizando balance de materia en el *reboiler*:

$$V' = L' - B$$

$$V' = \frac{30{,}57 kmol}{h}$$

Una vez conocidos los flujos se puede expresar la recta de operación para la sección de agotamiento:

$$x_{i,k+1} = \frac{V'}{L'} \cdot y_{i,k} + \left(1 - \frac{V'}{L'}\right) \cdot x_{i,B} \qquad [41]$$

Realizando un balance de materia por componente en el *reboiler* se puede calcular la composición del vapor que entra a la segunda etapa y la composición del líquido que entra en el condensador.

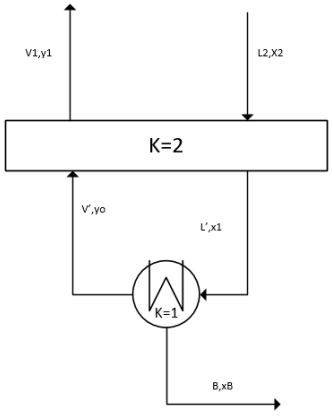


Figura 7.5: Esquema simplificado del reboiler (primera etapa) y la segunda etapa de equilibrio de la sección de agotamiento. Fuente: Elaboración propia.

Aplicando los balances de materia previamente mencionados se obtiene lo mostrado en la Tabla 7.17:

Tabla 7.17: Composición y temperatura en la primera etapa de equilibrio (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

		$T_{reboiler}$ (ºC)	293,56	
Componente	**x_B**	**K_i**	**y_0**	**x_1**
n-Pentano	$9{,}37 \cdot 10^{-15}$	41,85	$3{,}92 \cdot 10^{-13}$	$3{,}44 \cdot 10^{-13}$
2-Metil-1-Hepteno	$2{,}83 \cdot 10^{-9}$	15,60	$4{,}42 \cdot 10^{-8}$	$3{,}90 \cdot 10^{-8}$
1-Dodeceno	$1{,}57 \cdot 10^{-3}$	4,23	0,01	0,01
1-Hexadeceno	0,74	1,22	0,89	0,88
1-Eicoseno	0,26	0,37	0,10	0,12
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**

Segunda etapa

Se continúa aplicando el algoritmo y se obtienen todas las variables correspondientes a la segunda etapa.

Tabla 7.18: Composición y temperatura en la segunda etapa (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

		T_2 (ºC)	287,06			
Componente	x_2	K_i	y_2	$y_{1\ norm}$	x_3	$x_{3\ norm}$
n-Pentano	0,00	38,02	40,79	$1{,}40\cdot10^{-11}$	$1{,}40\cdot10^{-11}$	$1{,}23\cdot10^{-11}$
2-Metil-1-Hepteno	0,00	13,79	14,80	$5{,}77\cdot10^{-7}$	$5{,}77\cdot10^{-7}$	$5{,}06\cdot10^{-7}$
1-Dodeceno	0,01	3,60	3,86	0,02	0,02	0,02
1-Hexadeceno	0,88	1,00	1,07	0,94	0,94	0,91
1-Eicoseno	0,12	0,30	0,32	0,04	0,04	0,07
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 0{,}007$$

Tabla 7.19: Entalpías en la segunda etapa de equilibrio (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**3**	**2**	**2**	**1**
T (ºC)	283,12	287,06	287,06	293,56
ENTALPÍA	h_3 (kJ/kmol)	h_2 (kJ/kmol)	H_2 (kJ/kmol)	H_1 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-1{,}46\cdot10^{-6}$	$-1{,}47\cdot10^{-6}$	$-3{,}84\cdot10^{-8}$	$-1{,}38\cdot10^{-6}$
2-Metil-1-Hepteno	$-1{,}85\cdot10^{-2}$	$-1{,}95\cdot10^{-2}$	$-1{,}84\cdot10^{-3}$	$-2{,}46\cdot10^{-2}$
1-Dodeceno	$-1{,}63\cdot10^{3}$	$-1{,}69\cdot10^{3}$	$-6{,}64\cdot10^{2}$	$-2{,}31\cdot10^{3}$
1-Hexadeceno	$-1{,}14\cdot10^{5}$	$-1{,}17\cdot10^{5}$	$-1{,}54\cdot10^{5}$	$-1{,}63\cdot10^{5}$
1-Eicoseno	$-6{,}45\cdot10^{3}$	$-6{,}62\cdot10^{3}$	$-2{,}84\cdot10^{4}$	$-1{,}59\cdot10^{4}$
TOTAL	$\mathbf{-1{,}22\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}25\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}83\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}81\cdot10^{5}}$

$$V_1 = 31{,}53\,\frac{kmol}{h}$$

$$L_2 = 35{,}89\,\frac{kmol}{h}$$

Tercera etapa

Se muestran los resultados en las Tablas 7.20 y 7.21.

Tabla 7.20: Composición y temperatura en la tercera etapa de equilibrio (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

			T_3 (ºC)	**283,12**		
Componente	**x_3**	**K_i**	**y_3**	**$y_{3\ norm}$**	**x_4**	**$x_{4\ norm}$**
n-Pentano	$1{,}23\cdot10^{-11}$	37,39	40,11	$4{,}93\cdot10^{-10}$	$4{,}93\cdot10^{-10}$	$4{,}33\cdot10^{-10}$
2-Metil-1-Hepteno	$5{,}06\cdot10^{-7}$	13,33	14,31	$7{,}23\cdot10^{-6}$	$7{,}23\cdot10^{-6}$	$6{,}36\cdot10^{-6}$
1-Dodeceno	0,02	3,40	3,65	0,08	0,08	0,07
1-Hexadeceno	0,91	0,92	0,99	0,91	0,91	0,89
1-Eicoseno	0,07	0,27	0,29	0,02	0,02	0,05
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 0{,}023$$

Tabla 7.21: Entalpías en la tercera etapa de equilibrio (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**4**	**3**	**3**	**2**
T (ºC)	276,666	283,123	283,123	287,06
ENTALpÍA	h_4 (kJ/kmol)	h_3 (kJ/kmol)	H_3 (kJ/kmol)	H_2 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-1{,}47\cdot10^{-6}$	$-5{,}21\cdot10^{-5}$	$-1{,}38\cdot10^{-6}$	$-4{,}94\cdot10^{-5}$
2-Metil-1-Hepteno	$-1{,}95\cdot10^{-2}$	-0,252	$-2{,}46\cdot10^{-2}$	-0,327
1-Dodeceno	$-1{,}69\cdot10^{3}$	$-5{,}56\cdot10^{3}$	$-2{,}31\cdot10^{3}$	$-7{,}63\cdot10^{3}$
1-Hexadeceno	$-1{,}17\cdot10^{5}$	$-1{,}15\cdot10^{5}$	$-1{,}63\cdot10^{5}$	$-1{,}62\cdot10^{5}$
1-Eicoseno	$-6{,}62\cdot10^{3}$	$-3{,}38\cdot10^{3}$	$-1{,}59\cdot10^{4}$	$-1{,}20\cdot10^{4}$
TOTAL	**$-1{,}25\cdot10^{5}$**	**$-1{,}24\cdot10^{5}$**	**$-1{,}81\cdot10^{5}$**	**$-1{,}81\cdot10^{5}$**

$$V_2 = 30{,}62\frac{kmol}{h}$$

$$L_3 = 34{,}97\frac{kmol}{h}$$

Cuarta etapa

Se muestran los resultados en las Tablas 7.22 y 7.23.

Tabla 7.22:Composición y temperatura en la cuarta etapa de equilibrio (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

			T_4 (ºC)	276,67		
Componente	x_4	K_i	y_4	$y_{4\ norm}$	x_5	$x_{5\ norm}$
n-Pentano	$4{,}33\cdot10^{-10}$	36,29	38,93	$1{,}69\cdot10^{-8}$	$1{,}69\cdot10^{-8}$	$1{,}48\cdot10^{-8}$
2-Metil-1-Hepteno	$6{,}36\cdot10^{-6}$	12,59	13,50	$8{,}58\cdot10^{-5}$	$8{,}58\cdot10^{-5}$	$7{,}52\cdot10^{-5}$
1-Dodeceno	0,07	3,09	3,31	0,22	0,22	0,19
1-Hexadeceno	0,89	0,81	0,87	0,77	0,77	0,76
1-Eicoseno	0,05	0,23	0,24	0,01	0,01	0,04
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 0{,}0748$$

Tabla 7.23: Entalpías en la cuarta etapa de equilibrio de la sección de agotamiento. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**5**	**4**	**4**	**3**
T (ºC)	262,31	276,67	276,67	283,12
ENTALpÍA	h_5 (kJ/kmol)	h_4 (kJ/kmol)	H_4 (kJ/kmol)	H_3 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-5{,}21\cdot10^{-5}$	$-1{,}80\cdot10^{-3}$	$-4{,}94\cdot10^{-5}$	$-1{,}73\cdot10^{-3}$
2-Metil-1-Hepteno	-0,252	-3,140	-0,327	-4,330
1-Dodeceno	$-5{,}56\cdot10^{3}$	$-1{,}68\cdot10^{4}$	$-7{,}63\cdot10^{3}$	$-2{,}35\cdot10^{4}$
1-Hexadeceno	$-1{,}15\cdot10^{5}$	$-1{,}00\cdot10^{5}$	$-1{,}62\cdot10^{5}$	$-1{,}47\cdot10^{5}$
1-Eicoseno	$-3{,}38\cdot10^{3}$	$-2{,}16\cdot10^{3}$	$-1{,}20\cdot10^{4}$	$-1{,}11\cdot10^{4}$
TOTAL	$\mathbf{-1{,}24\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}19\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}81\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}81\cdot10^{5}}$

$$V_3 = 28{,}05\frac{kmol}{h}$$

$$L_4 = 32{,}40\frac{kmol}{h}$$

Quinta etapa

Se muestran los resultados en las Tablas 7.24 y 7.25.

Tabla 7.24: Composición y temperatura en la quinta etapa de equilibrio (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

			T_4 (ºC) 262,31			
Componente	x_5	K_i	y_5	$y_{5\ norm}$	x_6	$x_{6\ norm}$
n-Pentano	$1{,}48\cdot10^{-8}$	33,62	36,07	$5{,}33\cdot10^{-7}$	$5{,}33\cdot10^{-7}$	$4{,}61\cdot10^{-7}$
2-Metil-1-Hepteno	$7{,}52\cdot10^{-5}$	10,94	11,74	$8{,}82\cdot10^{-4}$	$8{,}82\cdot10^{-4}$	$7{,}64\cdot10^{-4}$
1-Dodeceno	0,19	2,45	2,63	0,51	0,51	0,44
1-Hexadeceno	0,76	0,59	0,64	0,49	0,49	0,52
1-Eicoseno	0,04	0,15	0,17	0,01	0,01	0,04
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 0{,}25$$

Tabla 7.25: Entalpías en la quinta etapa de equilibrio de la sección de agotamiento. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**6**	**5**	**5**	**4**
T (ºC)	262,31	276,67	276,67	283,12
ENTALpÍA	h_6 (kJ/kmol)	h_5 (kJ/kmol)	H_5 (kJ/kmol)	H_4 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-5{,}21\cdot10^{-5}$	$-1{,}80\cdot10^{-3}$	$-4{,}94\cdot10^{-5}$	$-1{,}73\cdot10^{-3}$
2-Metil-1-Hepteno	-0,252	-3,140	-0,327	-4,330
1-Dodeceno	$-5{,}56\cdot10^{3}$	$-1{,}68\cdot10^{4}$	$-7{,}63\cdot10^{3}$	$-2{,}35\cdot10^{4}$
1-Hexadeceno	$-1{,}15\cdot10^{5}$	$-1{,}00\cdot10^{5}$	$-1{,}62\cdot10^{5}$	$-1{,}47\cdot10^{5}$
1-Eicoseno	$-3{,}38\cdot10^{3}$	$-2{,}16\cdot10^{3}$	$-1{,}20\cdot10^{4}$	$-1{,}11\cdot10^{4}$
TOTAL	$\mathbf{-1{,}24\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}19\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}81\cdot10^{5}}$	$\mathbf{-1{,}81\cdot10^{5}}$

$$V_4 = 25{,}88\frac{kmol}{h}$$

$$L_5 = 30{,}23\frac{kmol}{h}$$

Sexta etapa

Se muestran los resultados en las Tablas 7.26 y 7.27.

Tabla 7.26: Composición y temperatura en la sexta etapa de equilibrio (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

			T_4 (ºC)	**241,10**		
Componente	**x_6**	**K_i**	**y_6**	**$y_{6\ norm}$**	**x_7**	**$x_{7\ norm}$**
n-Pentano	$4{,}61\cdot10^{-7}$	29,29	31,42	$1{,}45\cdot10^{-5}$	$1{,}45\cdot10^{-5}$	$1{,}24\cdot10^{-5}$
2-Metil-1-Hepteno	$7{,}64\cdot10^{-4}$	8,64	9,27	0,01	0,01	0,01
1-Dodeceno	0,44	1,68	1,80	0,79	0,79	0,68
1-Hexadeceno	0,52	0,36	0,38	0,20	0,20	0,28
1-Eicoseno	0,04	0,08	0,09	$3{,}67\cdot10^{-3}$	$3{,}67\cdot10^{-3}$	0,04
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 0{,}84$$

Tabla 7.27: Entalpías en la sexta etapa de equilibrio de la sección de agotamiento. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA	**7**	**6**	**6**	**5**
T (ºC)	224,813	241,104	241,104	262,31
ENTALpÍA	h_7 (kJ/kmol)	h_6 (kJ/kmol)	H_6 (kJ/kmol)	H_5 (kJ/kmol)
n-Pentano	$-5{,}83\cdot10^{-2}$	-1,640	$-5{,}63\cdot10^{-2}$	-1,560
2-Metil-1-Hepteno	-35,60	$-3{,}26\cdot10^{2}$	-51,00	$-4{,}47\cdot10^{2}$
1-Dodeceno	$-4{,}18\cdot10^{4}$	$-7{,}21\cdot10^{4}$	$-5{,}81\cdot10^{4}$	$-9{,}51\cdot10^{4}$
1-Hexadeceno	$-6{,}72\cdot10^{4}$	$-2{,}98\cdot10^{4}$	$-1{,}07\cdot10^{5}$	$-5{,}95\cdot10^{4}$
1-Eicoseno	$-1{,}37\cdot10^{3}$	$-7{,}59\cdot10^{2}$	$-1{,}14\cdot10^{4}$	$-1{,}18\cdot10^{4}$
TOTAL	**$-1{,}10\cdot10^{5}$**	**$-1{,}03\cdot10^{5}$**	**$-1{,}76\cdot10^{5}$**	**$-1{,}67\cdot10^{5}$**

$$V_5 = 26{,}15\,\frac{kmol}{h}$$

$$L_6 = 30{,}50\,\frac{kmol}{h}$$

Séptima etapa

Tabla 7.28: Composición y temperatura en la séptima etapa de equilibrio (agotamiento). Fuente: Elaboración propia.

		T_4 (ºC)	224,81	
Componente	x_7	K_i	y_7	$y_{7\ norm}$
n-Pentano	$1{,}24 \cdot 10^{-5}$	25,81	27,69	$3{,}43 \cdot 10^{-4}$
2-Metil-1-Hepteno	0,01	7,03	7,54	0,05
1-Dodeceno	0,68	1,22	1,30	0,88
1-Hexadeceno	0,28	0,23	0,25	0,07
1-Eicoseno	0,04	0,05	0,05	$2{,}13 \cdot 10^{-3}$
TOTAL	**1,00**		**1,00**	**1,00**

$$\frac{x_{LK}}{x_{HK}} = 2{,}45 \rightarrow Se\ alcanza\ la\ condición\ de\ parada$$

Resumen

Se concluye que serán necesarios 5 etapas (incluyendo el plato de alimentación en la quinta etapa contando desde el condensador) en la sección de rectificación y 6 etapas en la de agotamiento (incluyendo el *reboiler*). Esto hace un total de 10 platos y 11 etapas de equilibrio, resultados muy parecidos a los obtenidos con el *shortcut*.

Plato de alimentación

Como se puede comprobar en los datos mostrados en las Tablas 7.16 y 7.28, la composición correspondiente al plato de alimentación estimado en cada una de las secciones no coincide. Esta falta de convergencia es explicable a través de los motivos expuestos en la Sección 7.5, donde se explica el método utilizado. Además, como ya se comentó anteriormente, la estimación inicial de la distribución de los componentes no clave es crítica para la convergencia del método. Probando con otras distribuciones tal vez la convergencia sea mejor, aunque lo óptimo sería utilizar métodos algebraicos como los que se muestran en la referencia [2] de la bibliografía. Por el propio alcance de este proyecto no se llevarán a cabo puesto que los cálculos realizados servirán para explicar el comportamiento de la columna.

Es importante realizar el balance de materia en el plato de alimentación, pero es imposible debido a los resultados obtenidos. La diferencia en las composiciones y la ligera variación en la temperatura hacen imposible determinar las variables necesarias para realizar los balances. De esta falta de convergencia se deduce que hay un efecto de mezcla importante en el plato de alimentación. Este hecho no resulta raro si se tiene en cuenta la gran variación de puntos de ebullición entre cabezas y colas y que la corriente entra parcialmente vaporizada. La temperatura del plato de alimentación es mayor que la de la corriente de entrada así que se producirá una vaporización parcial del líquido y eso provocará variaciones en los flujos calculados.

Perfiles de la columna

En esta sección se mostrarán los perfiles de temperatura, composición del líquido y caudales de líquido y vapor en cada plato dela columna. Las representaciones se compararán con las obtenidas a través de la simulación en Aspen Hysys y se expondrán las conclusiones obtenidas.

Temperatura vs. Etapa

En esta sección se mostrará la temperatura de operación de cada etapa. Se mostrará en la misma gráfica (Figura 7.6) el perfil obtenido a través del cálculo manual y el perfil obtenido a través de la simulación.

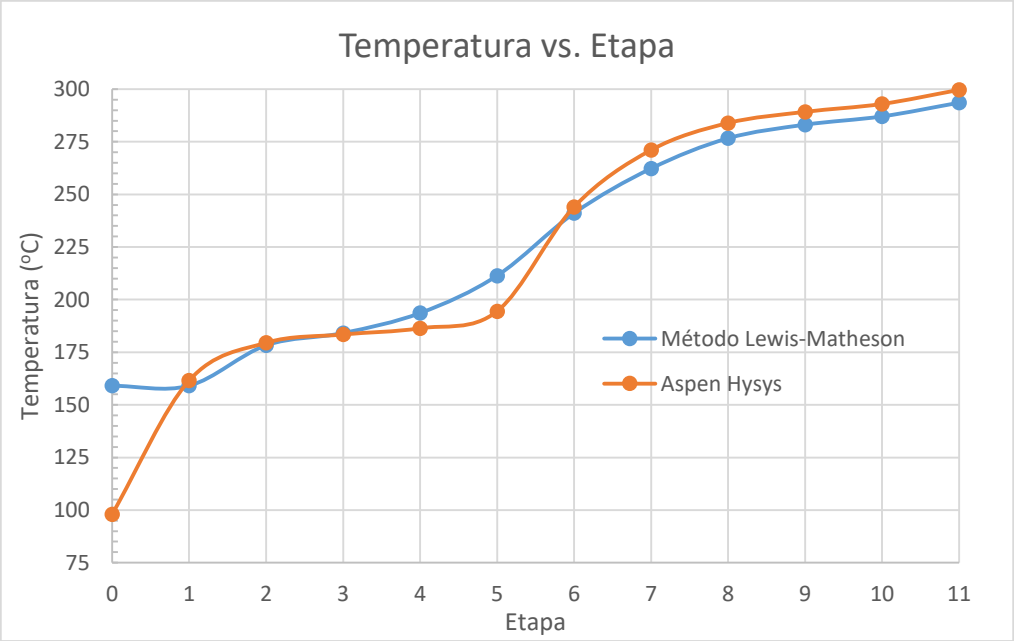


Figura 7.6: Perfiles de temperatura en la columna T-202 para el cálculo manual y la simulación en Aspen Hysys. Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la progresión es muy similar excepto en dos puntos: el condensador y el plato de alimentación.

La temperatura marcada por Aspen Hysys para el condensador es de 98 ºC, que es bastante más baja que la temperatura de rocío de la mezcla calculada en cabezas. El simulador tiene muchas más variables en cuenta de las que se han tenido para el cálculo manual así que se presupone que esa temperatura es la necesaria para mantener la tasa de condensación necesaria para poder utilizar el reflujo deseado.

En el plato de alimentación se puede apreciar una diferencia de, aproximadamente, 20 ºC. Esto se debe al efecto de mezcla comentado anteriormente ya que la vaporización parcial del líquido entrante a la columna tenderá a absorber energía en forma de calor, lo que explicaría la variación de temperatura obtenida entre el método manual y la simulación.

Composición de líquido vs. Etapa

En este apartado se representará la fracción molar de los componentes clave en el líquido presente en cada etapa. Igual que en el apartado anterior, se compararán los resultados con los obtenidos a través de Aspen Hysys.

En la Figura 7.7 se muestra el perfil de composiciones de los componentes clave en las corrientes de líquido según los datos obtenidos en el cálculo manual:

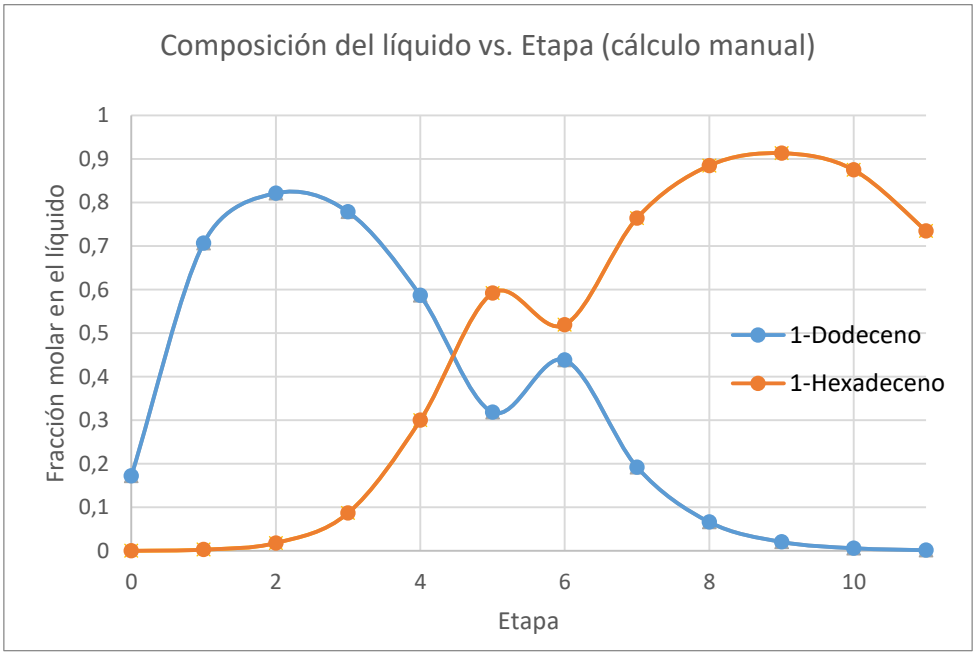


Figura 7.7: Composición del líquido en cada etapa para el cálculo manual. Fuente: Elaboración propia.

También se muestran en la Figura 7.8 el perfil de composiciones según la simulación en Aspen Hysys:

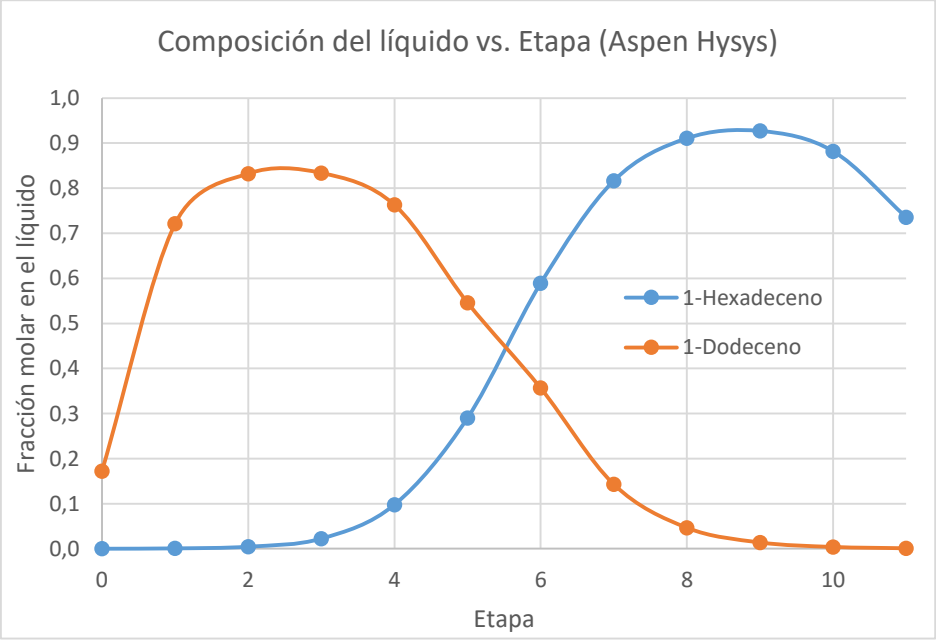


Figura 7.8: Composición del líquido en cada etapa para la simulación. Fuente: Elaboración propia.

A modo de comparativa, en la Figura 7.9 se muestran superpuestas las dos Figuras anteriores:

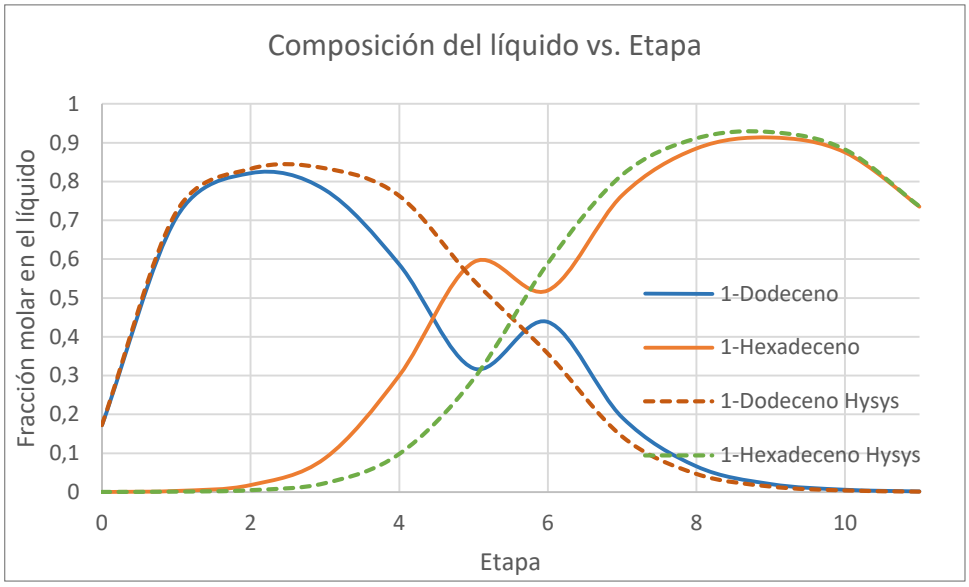


Figura 7.9: Comparativa entre cálculo manual y simulación en Aspen Hysys. Fuente: Elaboración propia.

Tanto en la Figura 7.7 como en la Figura 7.9 se puede apreciar el efecto de mezcla en los datos obtenidos a través del cálculo manual. Es muy probable que con una estimación inicial que ofreciera una mejor convergencia se disminuyera la diferencia apreciable entre el cálculo manual y la simulación.

Caudal de vapor vs. Etapa

En este apartado se analizarán los caudales molares de vapor obtenidos para cada etapa en el cálculo manual y en la simulación de Aspen Hysys.

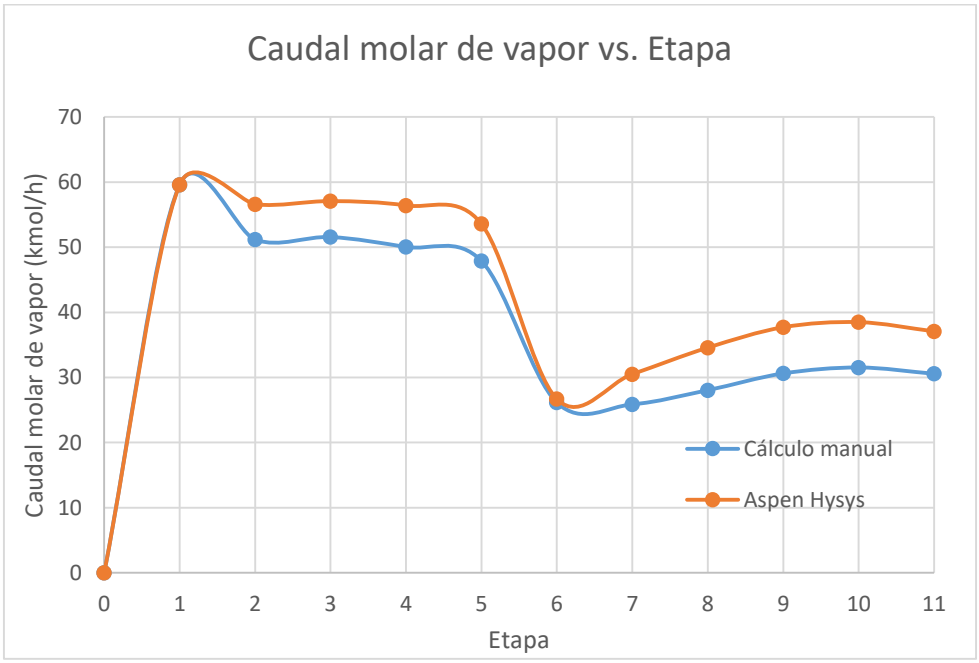


Figura 7.10: Caudal molar de vapor en cada etapa para los cálculos manuales y la simulación en Aspen Hysys. Fuente: Elaboración propia.

Aunque los valores difieren ligeramente, se puede apreciar que la tendencia es idéntica en ambos casos.

Caudal de líquido vs. Etapa

En este apartado se muestran (Figura 7.11) los caudales molares de líquido obtenidos para cada etapa en el cálculo manual y en la simulación de Aspen Hysys.

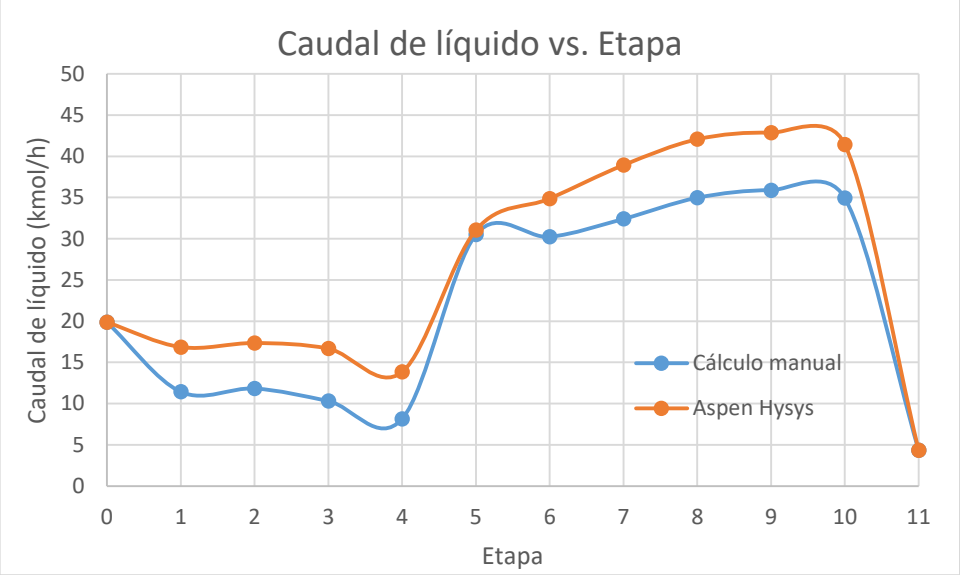


Figura 7.11: Caudal molar de líquido en cada etapa. Fuente: Elaboración propia.

De igual manera que ocurría en el caso del caudal de vapor, el caudal de líquido difiere ligeramente, pero se puede apreciar la misma tendencia.

7.5.4. Cálculo plato por plato: Estimación de composiciones a través de Aspen Hysys

En esta sección se repetirá el mismo procedimiento que para el cálculo plato por plato estimando las composiciones a través del método de Hengstebeck, pero esta vez la distribución de los componentes en las corrientes de productos serán tomadas del diseño *shortcut* a través de Aspen Hysys.

Dado que la alimentación se mantiene idéntica al caso anterior, en la Tabla 7.29 se muestra la distribución de componentes en las corrientes de productos.

Tabla 7.29: Distribución de componentes clave según Aspen Hysys. Fuente: elaboración propia.

Componente	**D (kmol/h)**	**x_D**	**B (kmol/h)**	**x_B**
n-Pentano	4,69	0,12	$2{,}42\cdot10^{-14}$	$5{,}56\cdot10^{-15}$
2-Metil-1-Hepteno	28,19	0,71	$5{,}83\cdot10^{-9}$	$1{,}34\cdot10^{-9}$
1-Dodeceno	6,84	0,17	$4{,}35\cdot10^{-3}$	$9{,}99\cdot10^{-4}$
1-Hexadeceno	0,01	$1{,}40\cdot10^{-4}$	3,20	0,74
1-Eicoseno	$6{,}91\cdot10^{-6}$	$1{,}74\cdot10^{-7}$	1,15	0,26
TOTAL	**39,73**	**1,00**	**4,35**	**1,00**

A pesar de que son muy similares a los obtenidos a partir del método gráfico de Hengstebeck, la diferencia en el orden de magnitud podría suponer la diferencia entre que se alcance la convergencia o no.

Dado que el procedimiento es exactamente idéntico se omitirá en este documento. Se mostrarán los perfiles de la columna en comparación con los de la simulación de Aspen Hysys para, de este modo, ilustrar la diferencia que supone la estimación de la distribución de componentes.

Resultados obtenidos

Después de realizar los cálculos necesarios, se llega a la conclusión de que son necesarias 10 etapas (incluyendo el *reboiler*). La sección de rectificación tendrá 4 etapas (incluyendo el plato de alimentación en la cuarta etapa) y la sección de agotamiento tendrá 6 etapas (incluyendo el *reboiler*).

Perfiles de la columna

De forma análoga al caso anterior, se mostrarán los perfiles obtenidos a través del cálculo manual y se compararán a los obtenidos a través de la simulación en Aspen Hysys.

Temperatura vs. Etapa

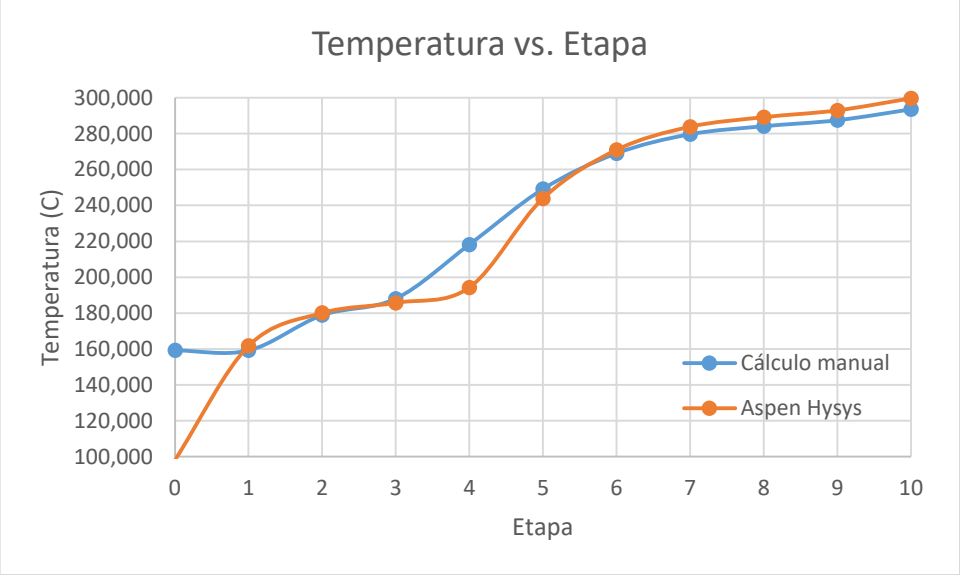


Figura 7.12: Perfil de temperatura para el cálculo manual y la simulación en Aspen Hysys. Fuente: elaboración propia.

Aunque sigue apreciándose desviación en los dos puntos comentados para el caso anterior (condensador y plato de alimentación) la diferencia que existe a lo largo de todo el perfil es menor que en el caso anterior.

Composición vs. Etapa

En la Figura 7.13, 7.14 y 7.15 se mostrarán los perfiles de composiciones de los componentes clave.

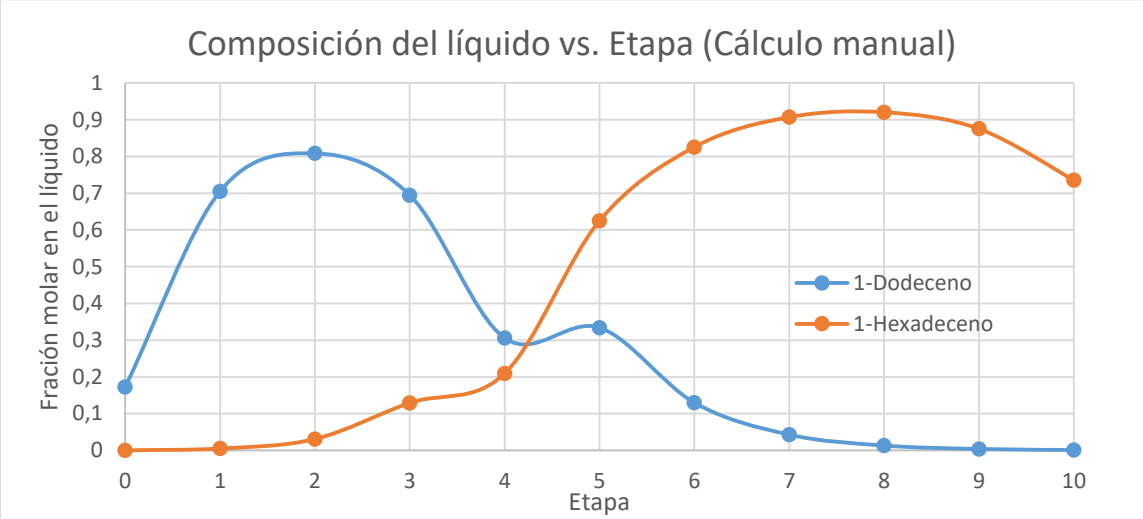


Figura 7.13: Composición del líquido en cada etapa según el cálculo manual. Fuente: Elaboración propia.

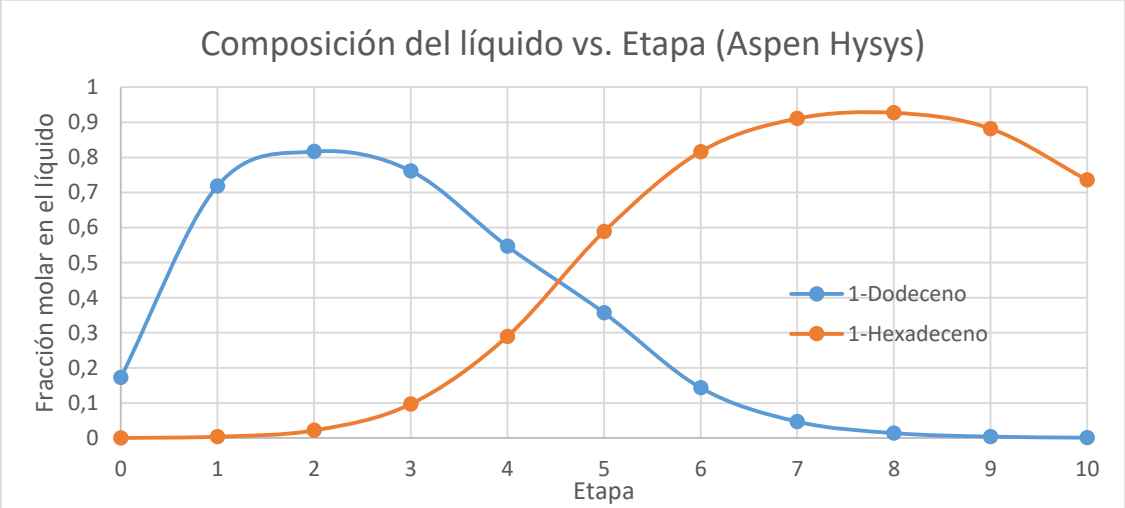


Figura 7.14: Composición del líquido en cada etapa según la simulación. Fuente: Elaboración propia.

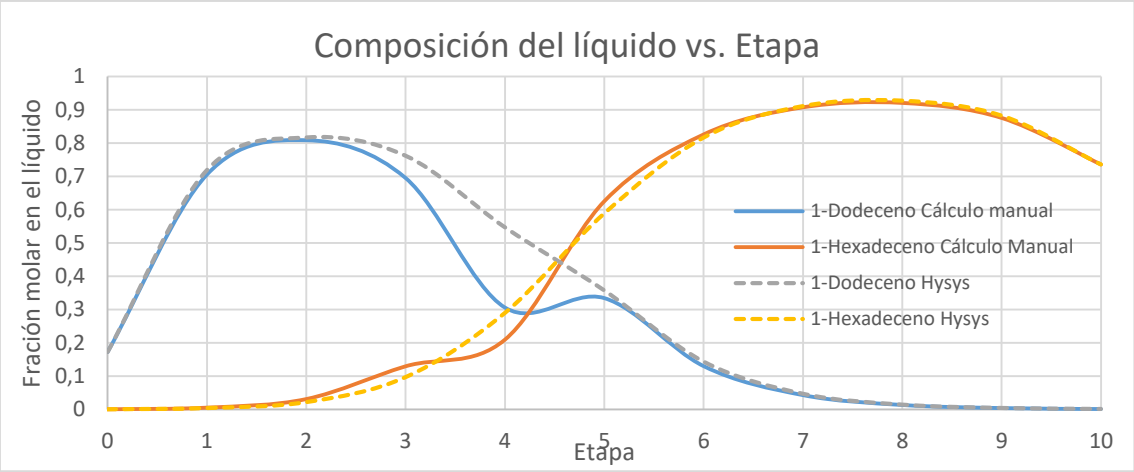


Figura 7.15: Comparativa entre cálculo manual y simulación en Aspen Hysys. Fuente: Elaboración propia.

En este caso la desviación es claramente menor que para la estimación de distribución de componentes a través del método de Hengstebeck. Tal vez la mayor concordancia se deba a utilizar la misma estimación que el programa para realizar los cálculos, pero, de todos modos, se sigue apreciando el efecto de mezcla en el plato de alimentación, fruto de una mala convergencia.

Caudal molar de vapor vs. Etapa

En la Figura 7.16 se representará el caudal molar de vapor en cada etapa y se comparará con los valores obtenidos a través de Aspen Hysys.

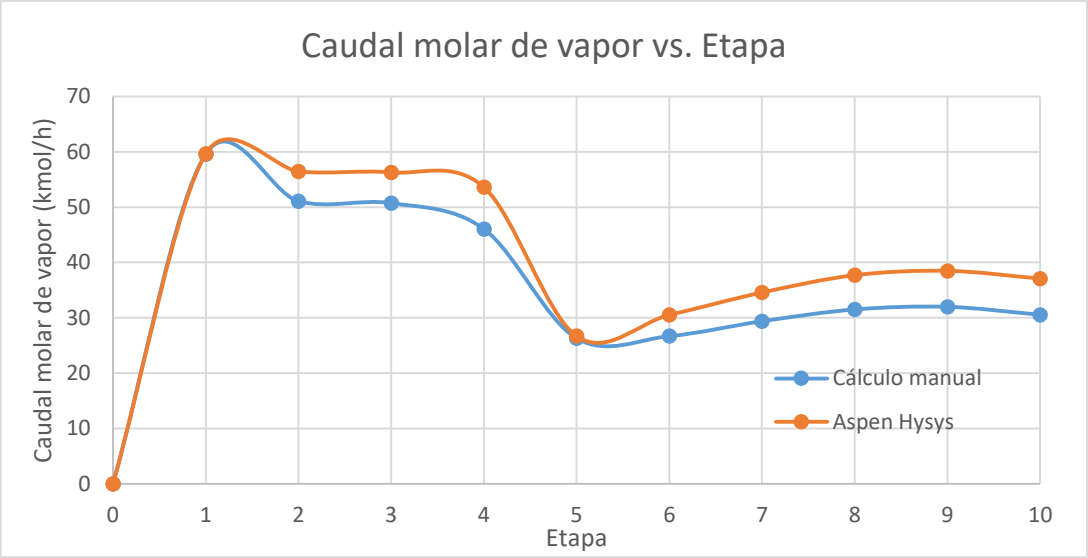


Figura 7.16: Caudal molar de vapor para los cálculos manuales y Aspen Hysys. Fuente: Elaboración propia.

Caudal molar de líquido vs. Etapa

En la Figura 7.17 se representará el caudal molar de líquido en cada etapa y se comparará con los valores obtenidos a través de Aspen Hysys.

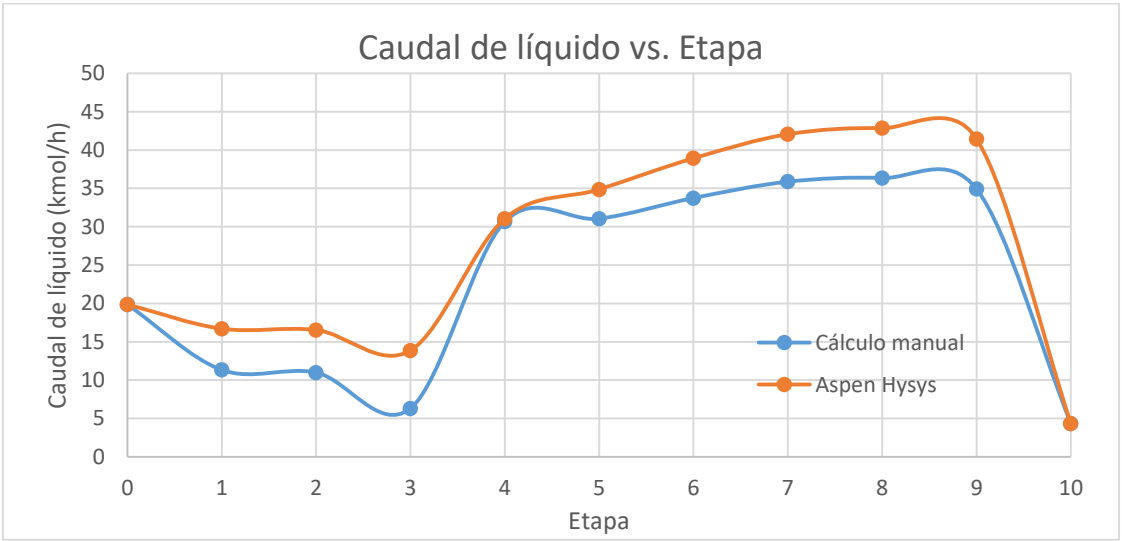


Figura 7.17: Caudal molar de líquido para los cálculos manuales y Aspen Hysys. Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Se obtiene que son necesarias 10 etapas teóricas siendo la cuarta etapa (contando desde el condensador) en la que se sitúa la alimentación.

8. Conclusiones globales y solución adoptada

La caracterización de la columna que se realizó inicialmente a través de los métodos simplificados resultó ser muy similar a los datos obtenidos a través del método riguroso. A pesar de esto, aún quedan algunos aspectos por caracterizar de forma definitiva:

- Número de etapas teóricas: Se ha visto a través de los métodos rigurosos que, en función de la estimación inicial de distribución de los componentes clave, la columna podría tener 10 u 11 platos. La mejor estimación fue la llevada a cabo en segundo lugar, la que estimaba la distribución a través de Hysys, y ésta resultaba en 10 platos teóricos. No obstante, como solución de ingeniería se va a optar por utilizar 11 etapas teóricas ya que las complicaciones operativas que pueden surgir son preferibles teniendo una etapa en exceso (que siempre se puede retirar) que una en defecto.
- Etapa teórica de alimentación: Analizando las soluciones obtenidas a través de los métodos *shortcut* se pudo comprobar que la etapa e alimentación oscilaba entre la tercera, la cuarta y la quinta (contando desde el condensador). Los métodos rigurosos no han arrojado mucha luz en este aspecto, teniendo la opción de alimentar la columna en la cuarta o en la quinta etapa. También se ha visto que existe un efecto de mezcla indeseado en el plato de alimentación por lo que, para solucionar todos estos problemas, se ha utilizado una única solución de ingeniería. Es práctica habitual en el diseño de columnas de destilación el dividir la alimentación en varios platos. Normalmente es complicado deducir una localización exacta para la etapa de alimentación de modo que se reparte entre los platos que sean más adecuados para así reducir los efectos de mezcla. En este caso se dividirá la alimentación entre la tercera, cuarta y quinta etapa teórica.

9. Diseño hidráulico

En esta sección se llevará a cabo el dimensionamiento de la columna. Se estimará cantidad de platos reales, el diámetro y las características de cada plato (área de la bajante, altura…). A través de estos se comprobará si la columna trabaja dentro del rango de operación y, posteriormente, se comprobará la caída de presión. En la Figura 9.1 se muestra el área de operación satisfactoria para los platos perforados.

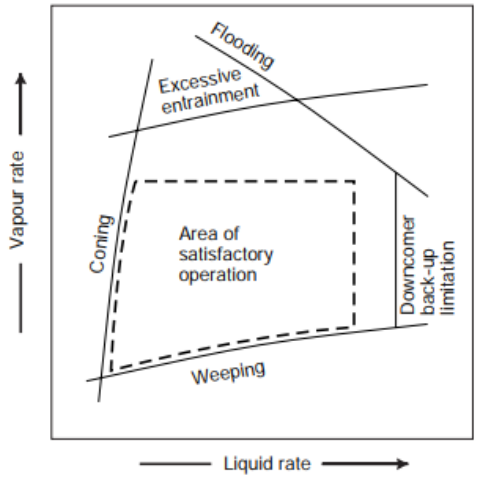


Figura 9.1: Diagrama de operación de los platos perforados. Fuente: [5]

9.1. Eficiencia global de la columna

En una etapa real rara vez se alcanza el equilibrio y para realizar los cálculos previos se ha partido de esa base. Realmente para levar a cabo el diseño de una columna de destilación no es interesante el número de etapas teóricas, sino el número de etapas reales. Estas dos características se relacionan a través de la eficiencia del plato. Las eficiencias tanto del plato como de la columna están comprendidas, normalmente, entre el 30 y el 70 por ciento.

Una buena estimación de la eficiencia global de la columna se puede obtener a partir de la correlación de O'Connell (1946), que se muestra en la Figura 9.2. Esta eficiencia está correlacionada con la volatilidad relativa del componente clave ligero (respecto al componente clave pesado) y la viscosidad molar media de la corriente de alimentación. Esta correlación fue obtenida principalmente con sistemas de hidrocarburos y está demostrado que ofrece estimaciones fiables para este tipo de sistemas [5], por lo que se utilizará para calcular la eficiencia de la columna T-202.

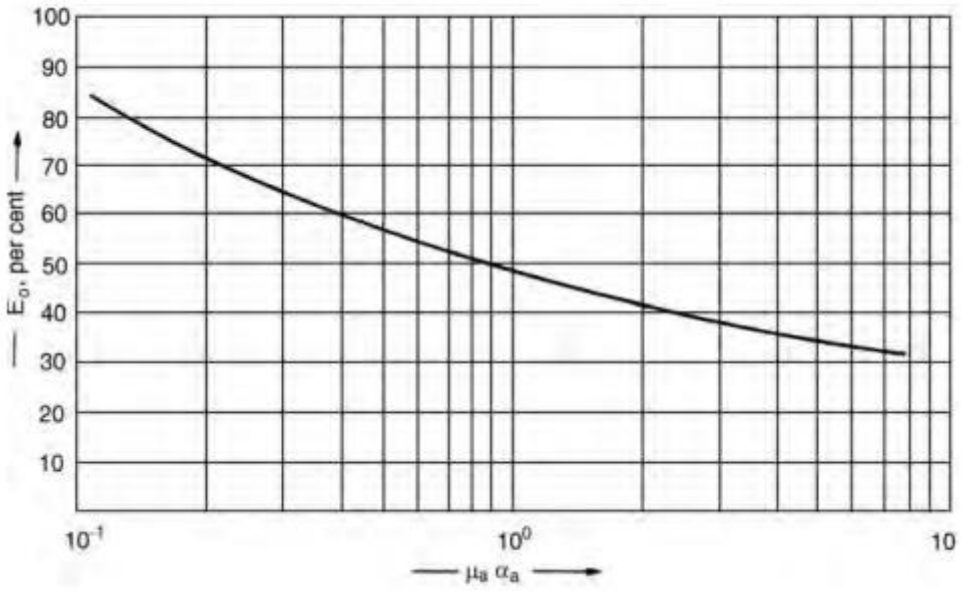


Figura 9.2: Correlación de O'Connell para la estimación de eficiencias en columnas de destilación. Fuente: [5]

Eduljee (1958) expresó la correlación de O'Connell en forma de ecuación:

$$E_o = 31 - 32{,}5 \cdot \log(\mu_a \cdot \alpha_a) \qquad [42]$$

Donde:

- E_o: Eficiencia global de la columna de destilación.
- μ_a: Viscosidad molar media del líquido expresada en mN·s/m^2.
- α_a: Volatilidad relativa del componente clave ligero respecto al clave pesado.

Se calculará la eficiencia utilizando la volatilidad relativa a la temperatura de cada etapa y se aceptará la eficiencia global como la media aritmética de los valores obtenidos. La viscosidad se obtendrá de la simulación de Aspen Hysys. Los resultados se muestran en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1: Eficiencia de la columna aplicando la correlación de O'Connell. Fuente: Elaboración propia.

Etapa	μ_a (mN·s/m^2)	T (ºC)	α_a	E_o
0	0,30	159,08	8,89	0,37
1		159,08	8,89	0,37
2		178,30	7,48	0,40
3		184,12	7,12	0,40
4		193,63	6,59	0,41
5		211,37	5,76	0,43
6		241,10	4,71	0,46
7		262,31	4,14	0,48
8		276,67	3,81	0,49
9		283,12	3,68	0,50
10		287,06	3,60	0,50
11		293,56	3,48	0,50
MEDIA ARITMÉTICA				**44,89%**

Se puede observar que la eficiencia global se encuentra entre los valores habituales.

9.2. Número de etapas reales

La eficiencia global de la columna se puede expresar como:

$$E_o = \frac{número\ de\ etapas\ ideales}{número\ de\ etapas\ reales} \quad [43]$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta que el número de etapas ideales es 11, serán necesarias:

$$N_R = \frac{N_I}{E_o} = \frac{11}{0{,}4489} = 24{,}50 \cong 25\ etapas$$

Donde N_I corresponde al número de etapas ideales y N_R al número de etapas reales. Serán necesarios 24 platos y el *reboiler.* Utilizando el factor que relaciona el número de etapas de la sección de rectificación con el de la de agotamiento se concluye que la alimentación se realiza en el plato 10.

9.3. Espaciado entre platos

La altura de la columna dependerá del espaciado entre platos, que suele estar comprendido entre 0,15 m y 1 m. A su vez, el espaciado entre platos dependerá del diámetro de la columna y de las condiciones de operación. Cuando la columna tiene un diámetro pequeño (por ejemplo, menor de un metro) es normal utilizar un espaciado de platos menor. Para diámetros mayores de un metro es recomendable un espaciado de 0,3 a 0,6 metros, tomando habitualmente 0,5 m como estimación inicial. Esta distancia ha de ser revisada una vez se lleva a cabo el diseño detallado del plato [5].

Como estimación inicial, se tomará la que indica la bibliografía [5] y se asumirá un espaciado entre platos de 0,5 m.

9.4. Diámetro de la columna

El diámetro de la columna está condicionado principalmente por el flujo de vapor que atraviesa la misma. La velocidad del vapor debe ser suficientemente baja como para impedir que se produzca arrastre de las gotas de líquido y provocar una caída de presión excesiva a lo largo de la columna.

La ecuación de Lowenstein (1961) puede ser utilizada para calcular la velocidad superficial máxima permitida para el vapor:

$$\hat{u}_v = (-0{,}171 l_t^2 + 0{,}27 l_t - 0{,}047) \cdot \left[\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad [44]$$

Donde:

- u_v: Velocidad máxima para el vapor en función del área transversal total de la columna, en m/s.
- l_t: Espaciado entre platos, en m. El rango permitido es entre 0,5 y 1,5 m.
- ρ_L: Densidad del líquido en kg/m^3. Se utilizará la del líquido obtenido por cabezas.
- ρ_v: Densidad del vapor en kg/m^3.

El diámetro de la columna puede ser calculado a través de la Ecuación [45]:

$$D_c = \sqrt{\frac{\widehat{V_w}}{\pi \cdot \rho_v \cdot \hat{u}_v}} \qquad [45]$$

Donde:

- V_w: Flujo máximo de vapor, en kg/s.
- Dc: Diámetro de la columna, en m.

Simulando en Aspen Hysys la columna que se pretende diseñar con 24 platos y la eficiencia global calculada, se obtienen las densidades en cada plato junto con el flujo de vapor máximo encontrado en la columna. Los datos y los resultados obtenidos se muestran resumidos en la Tabla 9.2:

Tabla 9.2: Resumen de resultados obtenidos para el cálculo del diámetro de la columna. Fuente: Elaboración propia.

Plato	ρ_L (kg/m^3)	ρ_v (kg/m^3)	L_t (m)	u_v (m/s)	V_w (kg/s)	D_c (m)
1	639,20	3,55	0,50	0,61	2,18	1,13
5	624,46	3,61		0,59		1,14
10	623,92	3,66		0,59		1,13
15	596,65	4,77		0,50		1,07
20	575,82	5,40		0,47		1,05
24	566,51	5,57		0,45		1,05

Será necesario elegir el diámetro más restrictivo, es decir, el mayor. Si elegimos un diámetro menor, aunque sea mejor a nivel económico, se pondría en juego la operación al generar velocidades mayores de las permitidas para el vapor.

Por otra parte, aunque se aprecia que la sección de rectificación tiene un mayor diámetro que la de agotamiento, no es necesario construir la columna con dos secciones diferentes. La diferencia es de menos de 10 cm, lo cual no complicaría la operación, pero sí aumentaría notablemente el coste de construcción. Se concluye que se utilizará el diámetro más restrictivo (1,14 m) para el diseño posterior, aunque será revisado una vez se hayan diseñado los platos.

9.5. Selección del tipo de plato

Dentro de los tres grandes tipos de platos de flujo cruzado (perforados, válvulas o borboteo) habrá que elegir cuál se usará para diseñar la columna. Los platos perforados, además de ser los de menor coste, ofrecen una buena capacidad y el rango de operación es más que aceptable. También son los que menor caída de presión proporcionan y, cuando se habla de eficiencias, no hay distinción siempre y cuando se opere en el rango de flujos de diseño del plato. Por este razonamiento, y con la aprobación de REPSOL, se decide utilizar platos perforados: bajo coste y funcionamiento satisfactorio para la mayoría de las operaciones. En la Figura 9.3 se muestra un esquema simplificado para un plato perforado.

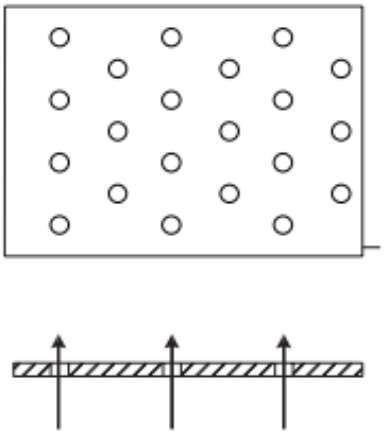


Figura 9.3: Vista superior y perfil de un plato perforado. Fuente: [5]

9.6. Áreas del plato

Se usarán los siguientes términos para el diseño hidráulico del plato. Todas las áreas están en m^2:

- A_c: Sección total de la columna.
- A_d: Área de la bajante, estimada en un 12% de la total.
- A_n: Área neta de contacto líquido-vapor. Es la diferencia entre el área total y el área de la bajante.
- A_a: Área activa o de burbujeo. Para platos de paso simple se calcula como A_c-2A_d.
- A_h: Área activa total de los agujeros.
- A_p: Área perforada, incluidas las zonas de calma y partes sin agujerear. Se considerará inicialmente que toda el área activa es área perforada, A_p=A_a.
- A_{ap}: Área bajo el salpicadero de la bajante.

Para una mejor comprensión, en la Figura 9.4 se muestra el esquema de un plato perforado de flujo cruzado.

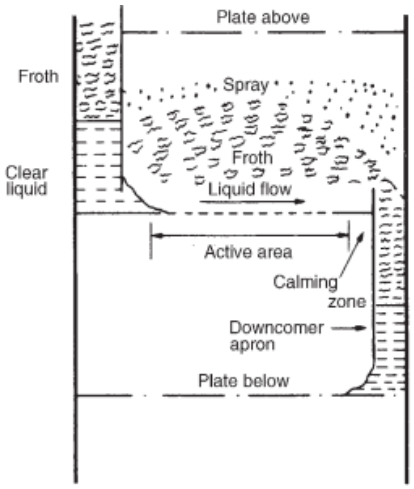


Figura 9.4: Plato perforado de flujo cruzado. Fuente: [5]

9.7. Recopilación de propiedades para el diseño hidráulico de platos perforados

Ya que los flujos y las composiciones varían entre las dos secciones de la columna, los datos presentados en la Tabla 9.3 serán las medias aritméticas de las propiedades en cada plato de la sección, presentándose un valor para cada propiedad en la sección de rectificación y de agotamiento.

Tabla 9.3: Recopilación de propiedades para el diseño hidráulico de platos perforados. Fuente: Elaboración propia.

	Rectificación	**Agotamiento**
σ (N/m)	0,01	0,01
ρ_v (kg/m^3)	3,61	5,05
ρ_L (kg/m^3)	626,31	587,88
PM liquido (kg/kmol)	159,38	207,14
PM vapor (kg/kmol)	126,36	197,37
Flujo molar medio de vapor (kmol/h)	53,73	32,88
Flujo molar medio de líquido (kmol/h)	15,66	37,32
Flujo másico medio de vapor (kg/h)	6782,79	6500,51
Flujo másico medio de líquido (kg/h)	2488,15	7739,69
Flujo volumétrico medio de vapor (m^3/h)	1879,28	1281,23
Flujo volumétrico medio de líquido (m^3/h)	3,29	13,21

9.8. Diámetro de la columna basado en condiciones de inundación

La condición de inundación fija el límite superior de la velocidad de vapor. Una velocidad de vapor alta favorece la eficiencia, y la velocidad de operación se encontrará, normalmente, entre el 70% y el 90% de la que cause inundación. Para diseño se usará un 80% de la velocidad de inundación, que puede ser estimada a través una modificación de la ecuación de Fair (1961):

$$u_f = K_1 \cdot \left(\frac{\sigma}{0{,}02}\right)^{0,2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}} \qquad [46]$$

Donde:

- u_f: Velocidad de inundación para el vapor, en m/s. Está basada en el área neta A_n, que es el área disponible para la separación del líquido y el vapor.
- K1: Constante obtenida de la Figura 9.5.

En la Tabla 9.4 se muestran los resultados obtenidos para el cálculo de la velocidad de inundación.

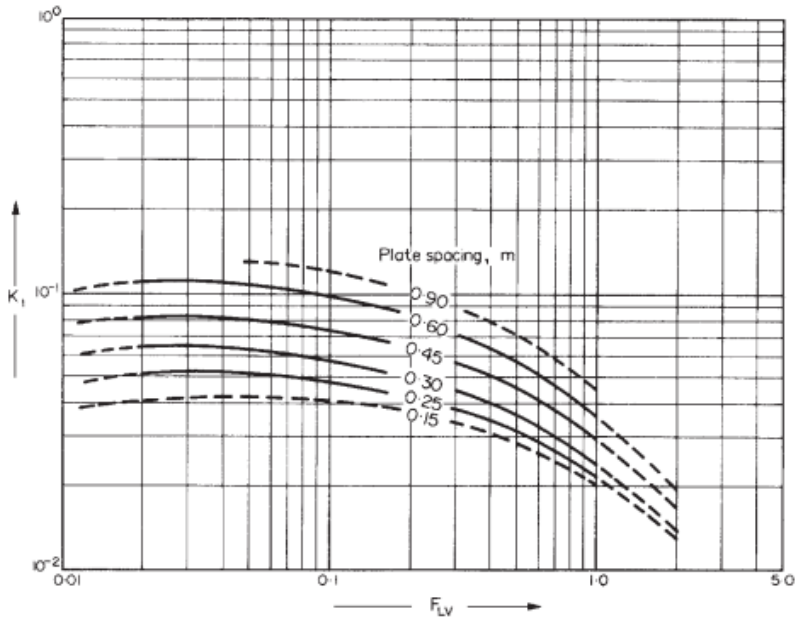


Figura 9.5: Estimación del factor K1. Fuente: [5]

El valor representado en el eje de abscisas se puede calcular como:

$$F_{LV} = \frac{L_w}{V_w} \cdot \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}} \qquad [47]$$

Donde:

- L_w: Flujo másico de líquido, en kg/s.
- V_w: Flujo másico de vapor, kg/s.

Tabla 9.4: Resultados para la velocidad de inundación y diámetro de la torre. Fuente. Elaboración propia.

	Rectificación	**Agotamiento**
F_{LV}	0,03	0,11
K_1	0,09	0,08
U_f (m/s)	1,06	0,72
U_v (m/s)	0,85	0,58
Q_{max} (m^3/h)	1966,23	1406,16
A_n (m^2)	0,65	0,68
A_c (m^2)	0,72	0,76
D_c (m)	**0,96**	**0,98**

Partiendo de la base de que el área neta para la separación líquido vapor (A_n) es igual a:

$$A_n = A_c - A_d \qquad [48]$$

Siendo A_c la sección transversal de la columna y A_d la sección transversal del área de la bajante, estimada en un 12% del área total.

El diámetro calculado para el porcentaje de inundación deseado es menor que el estimado inicialmente, pero no demasiado. Se vuelve a comprobar que el diámetro necesario para la sección de rectificación es prácticamente idéntico al de la sección de agotamiento y por ello se utilizará un único diámetro: 0,98 m.

Se comprueba a través de las heurísticas presentes en la bibliografía [10] que la relación altura/diámetro es correcta. Teniendo en cuenta que hay 24 platos y 0,5 m entre cada uno de ellos, se le añaden otro 0,5 m entre el cabezal inferior y superior y se obtiene una altura de 12,5 m. Esto implica una relación altura/diámetro de, aproximadamente, 12,5. La heurística indica que ha de ser menor de 30 y que, en muchos casos, si es mayor de 20 es necesario un diseño especial.

9.9. Selección del patrón de flujo

Se selecciona el patrón de flujo a través de la Figura 9.6.

Siendo los caudales volumétricos máximos de líquido en cada una de las secciones los mostrados en la Tabla 9.5:

Tabla 9.5: Caudales volumétricos máximos. Fuente: Elaboración propia.

	Rectificación	**Agotamiento**
L_{max} (m^3/s)	$2{,}65 \cdot 10^{-3}$	$4{,}33 \cdot 10^{-3}$

Utilizando los caudales de líquido máximos en la sección de rectificación y agotamiento se selecciona flujo cruzado y paso simple.

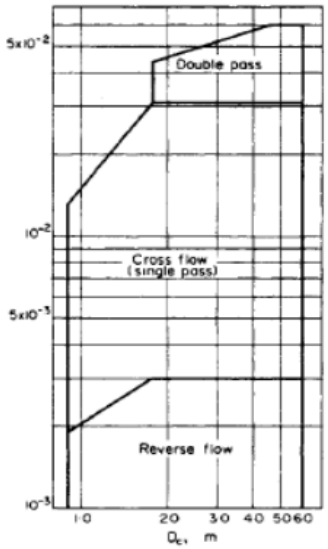


Figura 9.6: Selección del patrón de flujo. Fuente: [5]

9.10. Arrastre de líquido (*Entrainment)*

El arrastre se puede estimar a través de la correlación de Fair (Figura 9.7). Se expresa en kg/kg de líquido total y es función del factor F_{LV} calculado anteriormente.

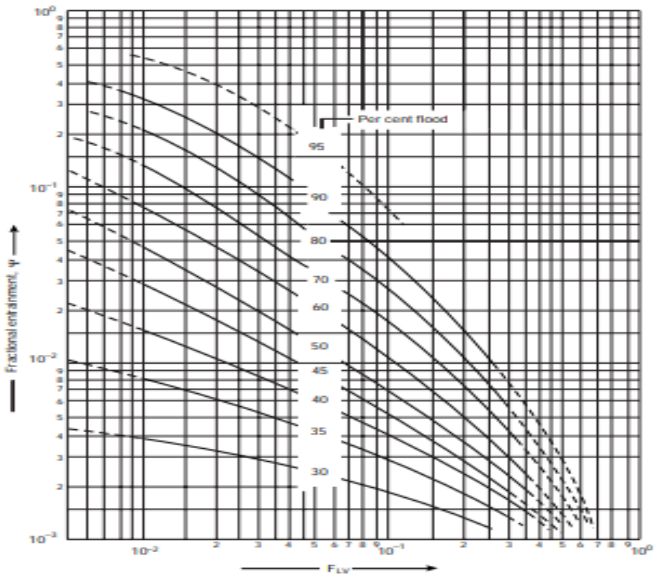


Figura 9.7: Correlación de Fair para arrastre en platos perforados. Fuente [5]

Se obtienen los siguientes factores de arrastre para la inundación estipulada del 80%:

$$\psi_{Rectificación} = 0{,}09 \frac{kg}{kg\ de\ líquido\ total}$$

$$\psi_{Agotamiento} = 0{,}011 \frac{kg}{kg\ de\ líquido\ total}$$

Ambos son menores al límite del 10% estipulado por lo que se considerarán correctos.

9.11. Punto de goteo (*Weeping)*

El límite inferior del rango de operación aparece cuando el líquido presente en los platos comienza a gotear a través de los agujeros de forma excesiva. Esto ocurrirá cuando la velocidad del vapor no sea suficiente para aguantar el líquido en el plato y por lo tanto se produzca el goteo. El área del agujero debe ser escogida de manera que la velocidad del vapor sea notablemente mayor que la velocidad mínima para que no se produzca goteo.

Se utilizará la ecuación propuesta por Eduljee (1959):

$$\breve{u}_h = \frac{K_2 - 0{,}9 \cdot (25{,}4 - d_h)}{(\rho_v)^{0{,}5}} \qquad [49]$$

Donde:

- u_h: Velocidad mínima del vapor a través de los agujeros (basada en el área de los agujeros), en m/s.
- d_h: diámetro de agujero, en mm.
- K_2: Constante dependiente de la profundidad del líquido en el plato, obtenida de la Figura 9.8.

La profundidad del líquido en el plato será igual a la altura de la presilla (h_w) más la altura del líquido sobre la presilla h_{ow}. Se utilizará una presilla de 40 mm de altura ya que es el valor recomendado [5]. Para calcular el líquido sobre la presilla:

$$h_{ow} = 750 \cdot \left(\frac{L_w}{\rho_L \cdot l_w}\right)^{\frac{2}{3}} \qquad [50]$$

Dónde:

- l_w: Longitud de la presilla, estimada en un 77% del diámetro de la columna [5], en m.

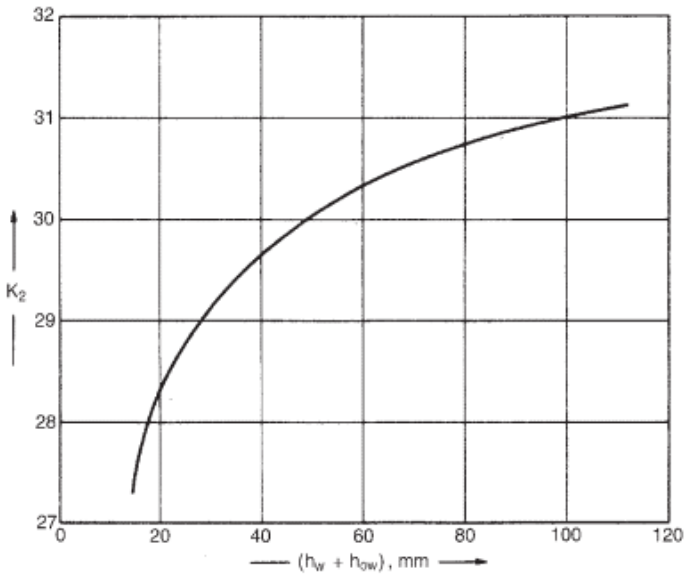


Figura 9.8: Estimación de K2. Fuente: [5]

En la Tabla 9.6 se muestran los datos obtenidos para el punto de goteo en condiciones de caudal máximo y mínimo, tanto en la sección de rectificación como de agotamiento.

Tabla 9.6: Resumen de resultados obtenidos para el punto de goteo. Fuente. Elaboración propia.

		Rectificación	**Agotamiento**
h_{ow} (mm)	máximo	22,73	30,95
	mínimo	11,23	24,40
$h_w + h_{ow}$ (mm)	máximo	62,73	70,95
	mínimo	51,23	64,40
K_2	máximo	30,40	30,60
	mínimo	30,10	30,50
$u_{h\ goteo}$ (m/s)	máximo	**1,07**	**1,08**
	mínimo	**1,04**	**1,07**
u_h (m/s)	máximo	**9,95**	**6,79**
	mínimo	**9,33**	**5,52**

Se comprueba que las velocidades de vapor (calculadas a través del área de los agujeros), es muy superior a la velocidad mínima y por lo tanto que se opera en un rango apto para evitar el goteo. A_h se relaciona con A_p a través de la Ecuación 51:

$$\frac{A_h}{A_p} = 0{,}9 \cdot \left(\frac{d_h}{l_p}\right)^2 \qquad [51]$$

Dónde l_p es la longitud del *pitch*, para el que se supone el triple del diámetro del agujero (supuesto 5 mm) y una configuración triangular. Los resultados se resumen en la Tabla 9.7.

Tabla 9.7: Resumen de parámetros necesarios para la comprobación del goteo. Fuente: Elaboración propia.

	Rectificación	**Agotamiento**
h_w (mm)	40,00	40,00
h_w (m)	0,04	0,04
l_w (m)	0,74	0,76
d_h (mm)	5,00	5,00
l_p (mm)	15,00	15,00
A_a	0,55	0,58
A_p	0,55	0,58
A_h	0,05	0,06

9.12. Caída de presión

9.12.1. Caída de presión en el plato

Existen dos fuentes principales de caída de presión en los platos: el flujo de vapor a través de los agujeros y la carga estática del líquido. Se aplica un modelo aditivo que implica la pérdida de presión del vapor en los agujeros del plato seco (h_d), la carga estática del líquido claro en cada plato (h_w+h_{ow}) y un término que tiene en cuenta las pérdidas residuales (h_r).

Para calcular la caída de presión en el plato seco:

$$h_d = 51 \cdot \left(\frac{u_h}{C_o}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_v}{\rho_L}\right) \qquad [52]$$

Donde el coeficiente de descarga C_o se obtiene de la Figura 9.9 asumiendo un espesor de plato igual al diámetro del agujero (5 mm) y que el plato es de acero al carbono. La velocidad a través de los agujeros es la misma que la calculada en el apartado anterior.

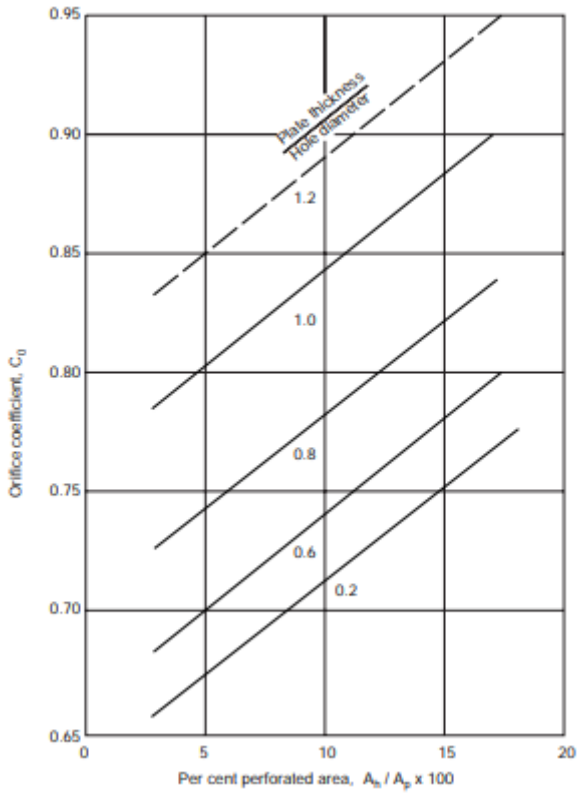


Figura 9.9: Coeficiente de descarga para platos perforados. Fuente: [5]

La carga residual se calcula como:

$$h_r = \frac{12500}{\rho_L} \qquad [53]$$

Y la carga total del plato será:

$$h_t = h_d + (h_w + h_{ow}) + h_r \qquad [54]$$

Las ecuaciones [52], [53] y [54] utilizan las variables en unidades del SI y la carga se obtiene en mm.

Para calcular la caída de presión a partir de la carga:

$$\Delta P_t = 9{,}81x10^{-3} \cdot h_t \cdot \rho_L \qquad [55]$$

Siendo:

- P_t: Caída de presión total en el plato, en Pa.
- h_t: Caída de presión total en el plato, en mm de líquido.

En la Tabla 9.8 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 9.8: Resultados obtenidos para la caída de presión. Fuente: Elaboración propia.

	Rectificación	**Agotamiento**
h_d (mm)	41,21	28,59
h_r (mm)	0,00002	0,00002
h_t (mm)	92,45	92,99
dP_t (Pa)	568,01	536,28
dP_t (bar)	0,0057	0,0054
dP_{total} (bar)	0,057	0,075
$dP_{columna}$ (bar)	**0,13**	

A través de las heurísticas [10] se comprueba que la caída de presión es buena (la caída de presión por plato está en torno a los 0,1 psi, lo que equivale a 0,007 bar) y por lo tanto las asunciones tomadas hasta el momento son acertadas.

9.13. Retorno de la bajante (*Downcomer back-up)*

El área de la bajante y el espaciado entre platos han de asegurar que el líquido en la bajante esté notablemente por debajo de la presilla del plato superior. Si el nivel sube considerablemente la columna se podría inundar de forma que será necesario calcular el retorno de la bajante:

$$h_b = (h_w + h_{ow}) + h_t + h_{dc} \qquad [56]$$

Donde h_b es el retorno de la bajante (en mm) y h_{dc} es la pérdida de carga en la bajante (en mm), que se calcula como:

$$h_{dc} = 166 \cdot \left(\frac{L_{wd}}{\rho_L \cdot A_m}\right)^2 \qquad [57]$$

Donde:

- L_{wd}: Caudal másico de líquido en la bajante (kg/s). Se supondrá igual al caudal de líquido medio.
- A_m: El mayor valor entre A_{ap} o A_d, en m^2.

Se define A_{ap} como:

$$A_{ap} = h_{ap} \cdot l_w \qquad [58]$$

$$h_{ap} = h_w - (5 \ a \ 10 \ mm) \rightarrow Se \ seleccionarán \ 7 \ mm$$

Se ilustrarán los cálculos a través de la Figura 9.10 y se mostrarán los resultados en la Tabla 9.9:

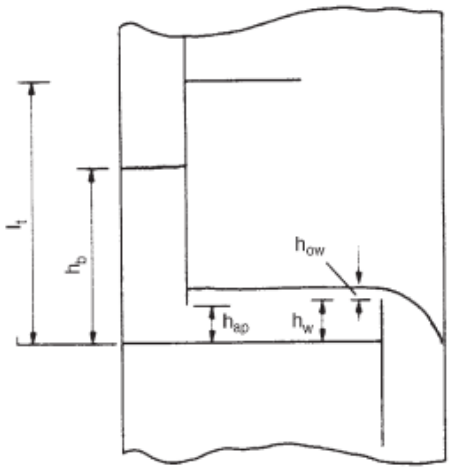


Figura 9.10: Retorno de la bajante. Fuente [5]

Para comprobar que no retornará la bajante se comprueba que:

$$h_b < 0{,}5 \cdot (l_t + h_w) \qquad [59]$$

Tabla 9.9: Resultados y comprobación para el retorno de la bajante. Fuente: Elaboración propia.

	Rectificación	**Agotamiento**
h_{ap} (mm)	33,00	33,00
A_{ap} (m^2)	0,02	0,02
A_m (m^2)	0,02	0,02
h_{dc} (mm)	1,95	4,68
h_b (mm)	157,12	168,62
0,5*(l_t+h_w)	270,00	270,00
t_r (s)	5,16	3,66

Se calcula el tiempo de residencia (t_r) a través de la Ecuación [60] y se comprueba que es mayor a 3 segundos.

$$t_r = \frac{A_d \cdot h_{bc} \cdot \rho_L}{L_{wd}} \qquad [60]$$

9.14. Diseño del área perforada

Inicialmente se supuso que el área perforada era igual al área activa, pero existen elementos necesarios para la estabilidad estructural del plato (anillos y vigas) que forman parte del área perforada y limitan la cantidad posible de agujeros. Las zonas de calma también limitan el área activa agujereada y se encuentran a ambos lados del plato, normalmente con una anchura de 75 mm para columnas de menos de 1,5 m de diámetro. La anchura del anillo que rodea al plato y lo mantiene sujeto a la columna tiene una anchura entre 50 y 75 mm y no suele extenderse al área de la bajante. Se elegirán 50 mm para el anillo.

El área no perforada se puede calcular a partir de la geometría del plato: longitud de la presilla, altura de la presilla y ángulo formado por el arco de la circunferencia. En la Figura 9.11 se ilustra la geometría.

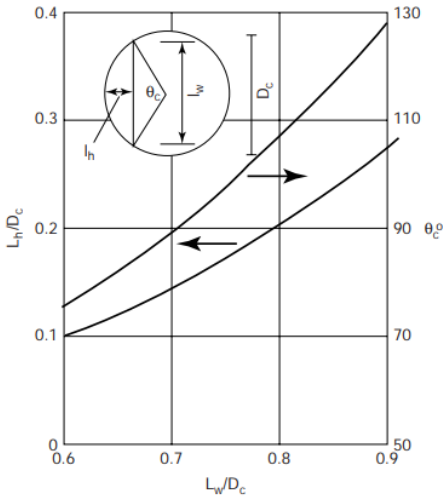


Figura 9.11: Relación entre longitud, altura y ángulo del arco de la circunferencia. Fuente [5]

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9.10.

Tabla 9.10: Altura y ángulo del arco de la circunferencia. Fuente: Elaboración propia.

l_h (m)	0,19
θ_c (º)	102

Por lo tanto:

- El ángulo complementario del borde del plato sería: θ_b=180º-102º= 78º
- La longitud media de las chapas no perforadas que rodean al plato:

$$(Dc - anchura\ de\ la\ chapa) \cdot \pi \cdot \frac{78^o}{180^o} = 1{,}27\ m$$

- Área media de las chapas no perforadas:

$$Anchura\ de\ la\ chapa \cdot Longitud\ de\ la\ chapa = 0{,}06\ m^2$$

- Longitud media de las zonas de calma:

$$l_w + anchura\ de\ la\ chapa = 0{,}81\ m$$

- Área de las zonas de calma:

$$2 \cdot (longitud\ zonas\ de\ calma \cdot anchura\ zonas\ de\ calma) = 0{,}006\ m^2$$

- Cálculo del área perforada:

$$A_p = A_a - A_{no\ activas} = 0{,}51\ m^2$$

Volviendo a aplicar la Ecuación [51] se recalcula A_h=0,051 m^2 frente a los 0,0549 m^2 obtenidos a través de la estimación inicial. La relación A_h/A_p apenas varía de modo que se comprueba a través de la Figura 9.12 que la relación entre el *pitch* y el diámetro del agujero se encuentra entre los valores indicados de 2,5 y 4 [5].

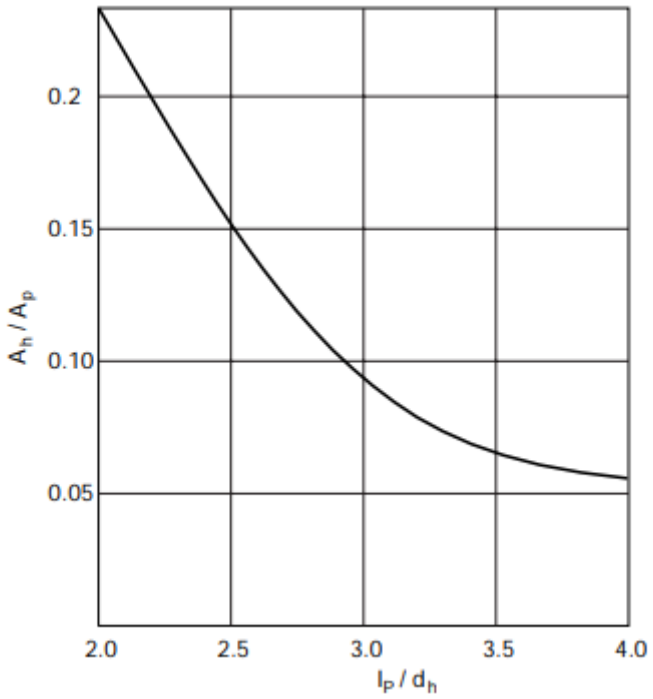


Figura 9.12: Relación entre diámetro de agujero y pitch. Fuente: [5]

Visto que la variación es tan pequeña, se mantendrá un diámetro de agujero de 5 mm y un pitch de 15 mm.

Se puede calcular el número de agujeros por plato geométricamente:

$$A_{agujero} = 0{,}00002\ m^2$$

$$N_{agujeros} = \frac{A_h}{A_{agujero}} = 2932 \frac{agujeros}{plato}$$

La geometría del plato y todas las distancias calculadas en esta sección están plasmadas en el Plano 6 del *Documento II. Planos*.

10. Diseño mecánico

La fraccionadora T-202 se diseñará en base al código *ASME Pressure Vessel Code* (ASME BPV). Se utilizará como guía la Sección 8 para el diseño mecánico de la columna como un recipiente vertical sometido a presión interna.

10.1. Material de construcción

El material de construcción es determinante en cuanto al coste del equipo, pero hay ciertos aspectos que deben ser cubiertos independientemente del coste que supongan. Asegurar una operación segura es fundamental a la hora de seleccionar el material, de igual manera que la compatibilidad química de los componentes que van a estar en contacto. Aunque la columna T-202 opera a presión atmosférica, será necesario elegir un material que sea lo suficiente resistente en el rango de temperaturas de operación, que sí que es relativamente alto.

En la refinería de A Coruña la mayor parte de los equipos, al igual que las líneas, están construidos de acero al carbono así que, por petición de la empresa, se usará este tipo de material. A pesar de que no es el más adecuado para entornos corrosivos (sería más interesante utilizar aceros inoxidables de alto contenido en cromo), la corrosión no es un ámbito primordial a tener en cuenta cuando la instalación ya está construida. Un buen control de la corrosión puede reducir hasta un 50% el coste de una refinería evitando paradas en las unidades, costes de reparación o nuevos equipos, costes asociados al mantenimiento y tiempo consumido de ingeniería y producción.

En procesos de refino, la corrosión a alta temperatura (128-343ºC) tiene dos mecanismos:

- Corrosión por ácidos nafténicos (R-COOH), originados a partir de ácidos orgánicos de alto peso molecular y que reaccionan directamente con el hierro. Tiene lugar cuando se procesan crudos con un *Total Acid Number* (TAN) mayor que 0,5 mg de KOH/g.
- Corrosión a alta temperatura por azufre.

Es muy habitual el tratamiento con inhibidores de corrosión, que incrementa la flexibilidad de procesado de crudos y reforzar la metalurgia allí donde es más conveniente a través de filmantes en las líneas. Estos inhibidores, normalmente a base de ésteres fosfatados, son una tecnología probada de uso común que forma capas muy resistentes a altas temperaturas. Los crudos nafténicos no se procesan de forma continua en la refinería y, cuando se hace, las líneas se aditivan con inhibidores de corrosión nafténica.

Dado que la corrosión no es un problema mayor y la presión de operación no requerirá de un material excepcionalmente resistente, se utilizará acero al carbono AISI 1025 por su bajo coste y su buena resistencia.

10.2. Presión de diseño

El recipiente ha de ser diseñado para soportar la presión máxima de operación habitual. Por motivos de seguridad es necesario incrementar esa presión de operación para realizar los cálculos de espesor. Ese incremento es, normalmente, el equivalente a la presión a la que está tarada la válvula de alivio, que suele ser entre un 5 y un 10% de la presión de operación. En algunas ocasiones también sería necesario tener en cuenta la presión hidrostática que produce

el fluido en el recipiente, pero, en este caso, no se tendrá en cuenta por la poca criticidad de las condiciones [5].

De todos modos, otras referencias bibliográficas [8] indican que, en caso de que el 10% de la presión de operación no sea mayor que 25 psig (1,72 bar), será necesario diseñar el recipiente para un incremento de 25 psig en la presión de operación.

Por lo tanto, la presión de diseño será:

$$P_{diseño} = P_{max.operación} + 1{,}72\ bar = 2{,}86\ bar$$

La presión máxima de operación se obtiene en el fondo de la columna, donde se ubica el *reboiler*, y es la presión atmosférica más la caída de presión (1,14 bar).

10.3. Temperatura de diseño

Para sistemas que operan entre -30 y 350 ºC se le añadirán 10 ºC a la temperatura de operación a no ser que haya condiciones críticas, en cuyo caso deberá haber un mayor margen de seguridad [8].

Se seleccionará como temperatura máxima de operación la que se alcanza en el *reboiler* y se le añaden 10 ºC (50 ºF):

$$T_{diseño} = T_{max,operación} + 10^{o}C = 305^{o}C$$

10.4. Propiedades de interés del AISI 1025

En la Tabla 10.1 se muestran las propiedades más relevantes del AISI 1025.

Tabla 10.1: Propiedades del acero AISI 1025 a 25 ºC. Fuente: [9]

Densidad (g/cm³)	7,858
Tensión de rotura (MPa)	380
Tensión de fluencia (MPa)	310
Módulo de Young (GPa)	200
Conductividad térmica a 300 ºC (W/m·K)	46

Como la tensión de diseño depende de la temperatura, se utilizarán los datos mostrados en la Tabla 10.2 para calcular el espesor de pared. El acero con características similares al seleccionado es "*Carbon Steel (semi-killed or silicon killed)"* y se puede encontrar en la primera fila de la tabla mencionada.

Tabla 10.2: Tensiones de diseño para distintos materiales. Fuente: [5]

Material	Tensile strength (N/mm^2)	Design stress at temperature °C (N/mm^2)									
		0 to 50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Carbon steel (semi-killed or silicon killed)	360	135	125	115	105	95	85	80	70		
Carbon-manganese steel (semi-killed or silicon killed)	460	180	170	150	140	130	115	105	100		
Carbon-molybdenum steel, 0.5 per cent Mo	450	180	170	145	140	130	120	110	110		
Low alloy steel (Ni, Cr, Mo, V)	550	240	240	240	240	240	235	230	220	190	170
Stainless steel 18Cr/8Ni unstabilised (304)	510	165	145	130	115	110	105	100	100	95	90
Stainless steel 18Cr/8Ni Ti stabilised (321)	540	165	150	140	135	130	130	125	120	120	115
Stainless steel 18Cr/8Ni Mo $2\frac{1}{2}$ per cent (316)	520	175	150	135	120	115	110	105	105	100	95

Se tendrán en cuenta las condiciones más críticas y se calculará el espesor de pared para la tensión de diseño correspondiente a una temperatura de 305 °C, que por interpolación adquiere un valor de 84,5 MPa.

10.5. Espesor de pared

Se calculará el espesor de pared a través del código ASME BPV Sec. VIII, que indica las ecuaciones necesarias para calcularlo. Será necesario calcular el espesor para soportar las tensiones máximas longitudinales y las tensiones máximas circunferenciales.

Para la tensión máxima circunferencial:

$$t_{circ} = \frac{PR}{SE - 0{,}6P} = 2{,}07\ mm + 2\ mm\ (corrosión) = 4{,}07\ mm$$

Donde:

- P: Presión de diseño, unidades del SI.
- R: Radio del recipiente cilíndrico, unidades del SI.
- S: Tensión de diseño, unidades del SI.
- E: Eficiencia de soldadura. Se considerará que la soldadura es simple y el radiografiado puntual por lo que, a través de la Tabla 10.3, se obtiene un valor de 0,80.

Tabla 10.3: Eficiencias de soldadura. Fuente: [5]

Type of joint	Degree of radiography		
	100 per cent	spot	none
Double-welded butt or equivalent	1.0	0.85	0.7
Single-weld butt joint with bonding strips	0.9	0.80	0.65

Para la tensión máxima longitudinal:

$$t_{long} = \frac{PR}{2SE + 0{,}4P} = 1{,}03\ mm + 2\ mm\ (corrosión) = 3{,}03\ mm$$

Para entornos en los que se utiliza acero al carbono y no es espera corrosión severa será necesario añadir 2 mm al espesor obtenido para evitar problemas asociados [5]. Se puede apreciar que el valor más restrictivo es el relativo a la tensión circunferencial, aunque no alcanza los valores establecidos por los límites prácticos (ver Tabla 10.4). Se puede apreciar que el espesor de pared mínimo (con el sobreespesor por corrosión incluido) que se considera práctico para recipientes de 1 m de diámetro es de 5 mm.

Tabla 10.4: Límites prácticos de espesores para recipientes sometidos a presión interna. Fuente: [5]

Vessel diameter (m)	Minimum thickness (mm)
1	5
1 to 2	7
2 to 2.5	9
2.5 to 3.0	10
3.0 to 3.5	12

Se concluye que el espesor de pared deberá ser de 5 mm.

11. Aislante térmico

El proceso de separación que se va a llevar a cabo en la columna T-202 deberá mantenerse a una temperatura constante para que la separación sea efectiva. Calorifugar el equipo se hace necesario por las siguientes razones [11]:

- Reducir las pérdidas de calor.
- Mejora la protección al contacto por disminuir la temperatura de la superficie.
- Reduce la refrigeración del producto obtenido por cabezas de manera que no vaporice.
- Asegura que la columna se mantiene a las temperaturas de operación requeridas.
- Previene el calentamiento de las sustancias involucradas en el proceso, principalmente debido a la radiación solar.

Las principales características que debe tener un buen aislante son la baja conductividad térmica y la alta repulsión al agua. En los calorifugados de los equipos que se encuentran al aire libre es normal que, debido a las condiciones climáticas, se acumule agua. Esto hace aumentar considerablemente el peso de la columna (lo que podría comprometer la estabilidad mecánica) y, por otra parte, aumenta el riesgo de corrosión en las líneas por oxidación del metal.

Por estas razones se decide utilizar lana de roca ProRox® SL 930, de la marca Rockwool [12].

11.1. Espesor del aislante

El balance de energía realizado para obtener el espesor del aislante se realiza de forma análoga al del Reactor R-101 (Ver *Documento 1. Cálculos justificativos del Reactor R-101,* Sección 8.6). En la Tabla 11.1 se muestran las propiedades del aislante seleccionado, obtenidas a través de su ficha técnica de datos.

Tabla 11.1: Propiedades de ProRox® SL 930. Fuente: [12]

Properties	Performance								Norms
Thermal conductivity	T_m (°C)	50	100	150	200	250	300	350	EN 12667
	λ (W/mK)	0,040	0,049	0,059	0,070	0,085	0,103	0,122	ASTM C177
Maximum Service Temperature	350°C (662°F) 450°C (842°F) In case of aluminium facing the outer foil temperature should be limited to 80 °C (176°F)								EN 14706 ASTM C411
Reaction to fire	Euroclass A1 Surface burning characteristics; Flame spread=passed, Smoke development=Passed								EN 13501-1 ASTM E84 (UL 723)
Nominal density	55 kg/m³ (3,4 lb/ft³)								EN 1602
Corrosion resistance	Conforms to the stainless steel corrosion specification as per ASTM test methods C 692 and C 871 Trace quantity of water leachable chloride ions: ≤ 10 ppm								ASTM C795 EN 13468
Water Absorption	< 1 kg/m² Water vapour absorption (Vapor sorption) ± 0,02%vol								EN 1609 ASTM C1104/C1104M
Water vapour diffusion resistance	μ = 1 S_d > 200 m (for Alu-foil faced product)								EN 14303
Designation code	MW EN 14303-T4(T3 if t<60)-ST(+)350-WS1 CL10 MW EN 14303-T4(T3 if t<60)-ST(+)350-WS1-MV2-CL10 (for Alu-foil faced product)								EN 14303

Los datos de partida para el cálculo del espesor del aislante se muestran en la Tabla 11.2.

Tabla 11.2: Datos de partida para el espesor del aislante. Fuente: Elaboración propia.

L (m)	12,5
D (m)	0,98
r_1 (m)	0,49
r_2 (m)	0,495
T_1 (°C)	305
β (K^{-1})	0,00317
ν (m^2/s)	$1{,}65 \cdot 10^5$
k_{acero}(W/mK)	46

La conductividad térmica del aislante para las diferentes temperaturas de película se calcula interpolando a través de la Tabla 11.1 y los cálculos propios de la transferencia de calor se obtienen siguiendo el mismo procedimiento explicado para el caso del reactor (ver *Documento II. Cálculos justificativos del Reactor R-101*, Sección 8.6)

Los radios se deducen de la Figura 11.1, de igual manera que para el caso del reactor.

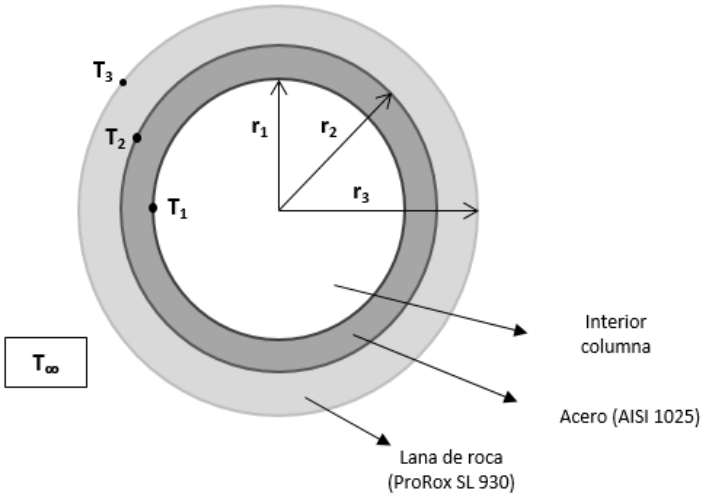


Figura 11.1: Esquema de espesores de la columna T-202. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11.3 se muestran los valores obtenidos para el espesor (y otras variables) para diferentes temperaturas en la superficie del aislante, lo que permitirá evaluar preliminarmente cuál es el espesor de aislante más adecuado.

Tabla 11.3: Resumen de resultados obtenidos para el espesor del aislante. Fuente: Elaboración propia.

T_3 (ºC)	$k_{aislante}$ (W/m·K)	h_{aire} (W/m^2·K)	Espesor (mm)	T_2 (ºC)
40	0,064	3,25	279,0	304,99
60	0,062	4,19	100,6	304,98
80	0,068	4,52	58,3	304,96

En la Figura 11.2 se representa el espesor necesario de aislante en función de la temperatura superficial que se desee.

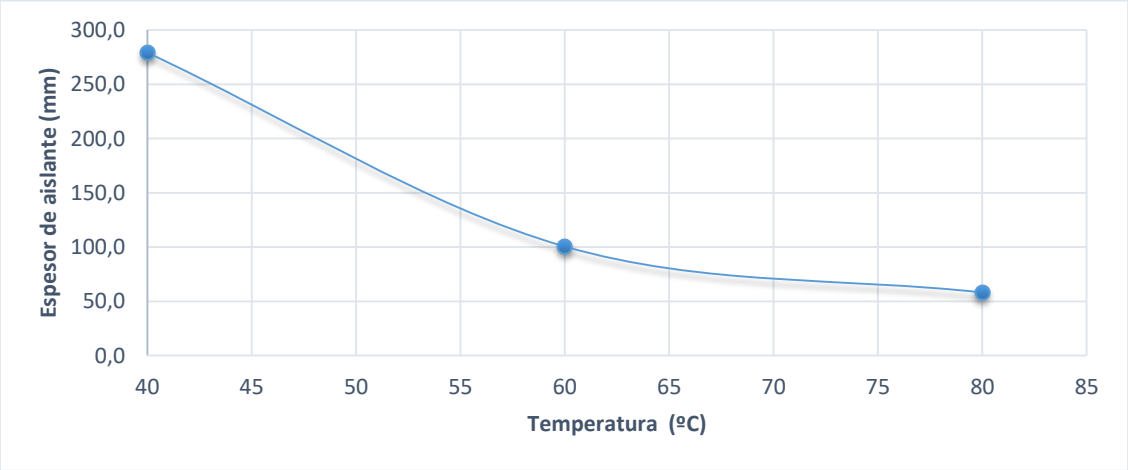


Figura 11.2: Espesor del aislante en función de la temperatura T3. Fuente: Elaboración propia.

Se trata de encontrar el equilibrio entre el criterio práctico y el criterio económico. Una temperatura T_3 de 40 ºC es preferible ante una de 80 ºC pero, tal y como se observa en la Figura 11.2, el espesor requerido es más del doble (y por lo tanto el precio también) que para mantener una temperatura superficial de 60 ºC, que también es aceptable. Sin embargo, una temperatura superficial de 80 ºC permite utilizar algo menos de la mitad de aislante que para el caso intermedio, pero no es una temperatura aceptable por razones de seguridad.

Se concluye que el espesor óptimo de aislante es de 100,6 mm.

12. Selección del tipo de cabezal

Los cabezales son importantes a la hora de soportar las cargas que afectan al recipiente. Los cabezales planos son los de menor coste y mayor facilidad de construcción, pero están limitados a recipientes que tienen un diámetro pequeño y trabajan a presiones bajas. Los cabezales hemisféricos y torisféricos son los más indicados para presiones de operación en torno a los 15 bar, pero su coste es mayor, mientras que los hemisféricos son los mejores para presiones muy altas pero, como era de suponer, su coste también será mayor que para todos los casos anteriores. En la Figura 12.1 se muestran los tipos de cabezales mencionados anteriormente

Dado que la columna de destilación T-202 tiene un diámetro pequeño (en torno a 1 m) y la presión de operación también es pequeña, se seleccionarán los cabezales planos como los más indicados para su construcción.

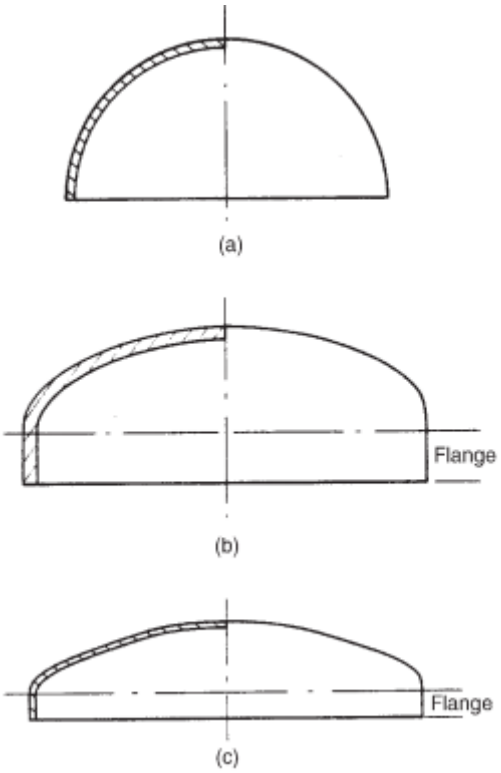


Figura 12.1: Tipos de cabezales (a) hemisférico (b) elíptico (c) torisférico. Fuente [5]

12.1. Diseño de cabezales

Las ecuaciones utilizadas para el diseño de cabezales planos están basadas en el análisis de tensiones en los mismos.

$$t_{cabezal} = C_p D_e \sqrt{\frac{P}{S}} \qquad [61]$$

Donde:

- C_p: Constante de diseño dependiente de las restricciones de los bordes.
- D_e: Diámetro del cabezal, en m.

En la Figura 12.2 se muestran los tipos de restricciones de borde para los cabezales planos.

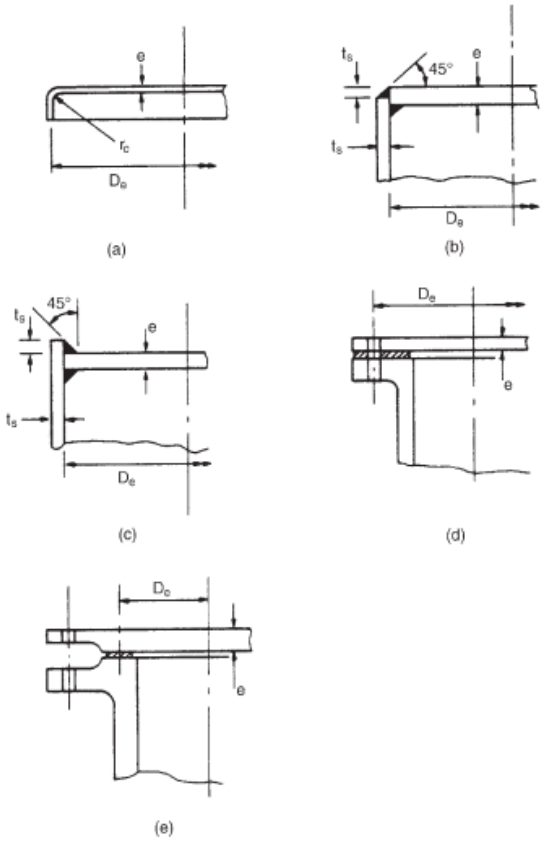


Figura 12.2: Bordes en cabezales planos (a) bridado (b) Soldado (c) Soldado (d) Atornillado (b) Atornillado. Fuente: [5]

Para platos soldados con ángulo de 45° respecto al recipiente (Figura 12.2 (b)):

$$C_p = 0{,}55$$

$$D_e = Dc$$

Con lo que se obtiene un espesor de cabezal de 31,27 mm, el cual es aceptable.

Será necesario añadir los 2 mm comentados anteriormente por corrosión, con lo que se obtiene un espesor de cabezal de 33,27 mm.

13. Análisis de recipiente sujeto a cargas combinadas

Aunque el cálculo preliminar del espesor se realiza teniendo en cuenta solamente la presión dentro del recipiente, hay que tener en cuenta que habrá más cargas que afecten al mismo: viento, el peso muerto del propio recipiente, el líquido que contiene, cargas por tuberías… Por eso mismo es necesario realizar un análisis de cargas que compruebe que el espesor de pared seleccionado es suficiente para soportar la peor combinación de cargas posible. Las principales fuentes de tensión que han de considerarse son [5]:

- Presión.
- Peso del recipiente vacío y sus accesorios.
- Cargas por viento.
- Cargas sísmicas.
- Cargas externas por tuberías y equipos acoplados.

13.1. Peso del recipiente vacío

Para el cálculo del peso aproximado de un recipiente cilíndrico se puede utilizar la Ecuación [62]:

$$W_v = C_v \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot D_m \cdot g \cdot (H_v + 0{,}8 \cdot D_m) \cdot t \cdot 10^{-3} \qquad [62]$$

Donde:

- W_v: Peso total de la carcasa excluyendo los platos, en kN .
- C_v: Factor que tiene en cuenta boquillas, bocas de hombre y soportes internos. Adopta el valor de 1,15 para columnas de destilación.
- H_v: Altura de la sección cilíndrica. Se tendrán en cuenta 12,5 metros (24 platos, 0,5 m de espaciado entre platos y 0,5 m entre los platos de los extremos y el cabezal).
- g: Aceleración de la gravedad, 9,81 m/s^2.
- t: Espesor de pared en mm.
- ρ_m: densidad del material de construcción, kg/m^3.
- D_m: Diámetro medio del recipiente, =(D_i+t·10^{-3}), m.

Se obtiene un peso del recipiente de 18,95 kN.

Por otra parte. será necesario tener en cuenta el peso de los platos perforados. En la Tabla 13.1 se muestran los datos obtenidos para los valores típicos mostrados en la bibliografía [5]:

Tabla 13.1: Peso correspondiente a los platos de la columna. Fuente: Elaboración propia.

Peso/área (kN/m^2)	1,2
Peso/plato (kN)	0,81
N_{platos}	24
Peso total (kN)	19,48

13.2. Cargas por viento

Aunque la columna de destilación T-202 no es excesivamente alta (13 metros) sí que tiene una relación altura/diámetro elevada y por ello se considerarán las cargas por viento. Dado que la columna está unida a un soporte en el suelo, las cargas por viento harán que actúe como una viga en voladizo, donde el momento de flexión se expresa a través de la Ecuación [63]:

$$M_x = \frac{F_w \cdot x^2}{2} \quad [63]$$

Siendo:

- F_w: Carga de viento ejercida por metro (N/m).
- M_x: Momento flector (N·m).
- x: Distancia medida desde el extremo libre.

La carga del viento por unidad de longitud puede ser calculada a través de la Ecuación [64]:

$$F_w = P_w \cdot D_{eff} \quad [64]$$

Donde:

- P_w: Presión ejercida por el viento, N/m^2.
- D_{eff}: Diámetro efectivo de la columna, para el que se debe tener en cuenta el aislamiento y los accesorios (tuberías y andamios). Se añadirán 0,4 m al diámetro de la columna [5].

La presión ejercida como el viento se puede calcular como:

$$P_w = 0{,}05 u_w^2 \quad [65]$$

Donde u_w es la velocidad del viento (en km/h), que para alturas menores de 20m se asume el valor medio de 80 km/h.

En la Tabla 13.2 se resumen los resultados obtenidos:

Tabla 13.2: Resumen de los cálculos obtenidos para las cargas por viento. Fuente: Elaboración propia.

P_w (N/m^2)	320
F_w (N/m)	445,45
M_x en la base de la columna (N·m)	37640,80

13.3. Análisis de esfuerzos

A continuación, se calcularán los esfuerzos más relevantes para comprobar que en ningún momento superan la tensión máxima permitida.

1. Esfuerzos circunferenciales y longitudinales, respectivamente:

$$\sigma_{circunf} = \frac{P \cdot D_i}{2t} \quad [66]$$

$$\sigma_{long} = \frac{P \cdot D_i}{4t} \quad [67]$$

2. Esfuerzo directo debido al peso del recipiente, sus accesorios y sus acoples. Normalmente sólo se tiene en cuenta en recipientes muy altos por ser prácticamente despreciable respecto al resto de esfuerzos, pero se tendrá en cuenta de todos modos.

$$\sigma_{directo} = \frac{w}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad [68]$$

Donde W representa el peso del recipiente vacío más el de los platos, ambos calculados anteriormente.

3. Esfuerzos de flexión ocasionados por viento tanto en el propio recipiente como en las líneas y accesorios acoplados que no se encuentran en el centro geométrico del recipiente. Dicho esfuerzo será negativo o positivo en función de si el viento sopla a favor o en contra del plano.

$$\sigma_{flex} = \pm \frac{M}{I_v} \cdot (\frac{D_i}{2} + t) \quad [69]$$

Donde:

- M: Momento flector total en el plano considerado (punto más bajo de la columna), en N·m.
- I_v: momento segundo sobre el plano de flexión (mm^4), calculado como $I_v = \frac{\pi}{64} \cdot \left(D_o^4 - D_i^4\right)$. D_o representa el diámetro teniendo en cuenta el espesor y D_i sin tener en cuenta el espesor.

En la Tabla 13.3 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 13.3: Resultados obtenidos para el análisis de esfuerzos. Fuente: Elaboración propia.

$\sigma_{circunf}$ (N/m^2)	27908443
σ_{long} (N/m^2)	13954222
$\sigma_{directo}$ (N/m^2)	2478680
M (N·m)	37641
I_v (mm^4)	0,002
σ_{flex} (N/m^2)	±9888069

Se calcula el esfuerzo longitudinal resultante a partir de la Ecuación [70]:

$$\sigma_z = \sigma_{long} + \sigma_{directo} \pm \sigma_{flex} \quad [70]$$

$$\sigma_{z1} = 23842291 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_{z2} = 4066152 \frac{N}{m^2}$$

Para determinar si la estructura soportará las tensiones que actúan sobre ella será necesario comprobar:

- Que la diferencia entre los esfuerzos longitudinales y circunferenciales no supere la tensión máxima permisible (S):

$$S > \sigma_z - \sigma_{circunf} \quad [71]$$

- La suma del esfuerzo de flexión y del esfuerzo directo no puede ser mayor al esfuerzo crítico de pandeo σ_c, que se calcula como:

$$\sigma_c = 2 \cdot 10^4 \cdot \frac{t}{D_o} \quad [72]$$

$$\sigma_c > \sigma_{flex} + \sigma_{directo} \quad [73]$$

En la Tabla 13.4 se resumen los resultados. Se aceptan todos los esfuerzos y se da por válido el diseño mecánico.

Tabla 13.4: Resumen de cálculo de esfuerzos. Fuente: Elaboración propia.

σ_{z1}- $\sigma_{circunf}$ (MPa)	-4,07	**Aceptado**
σ_{z2}- $\sigma_{circunf}$ (MPa)	-23,84	**Aceptado**
σ_{flex}+ $\sigma_{directo}$ (MPa)	12,4	**Aceptado**
σ_c (MPa)	100,80	**Aceptado**
S (MPa)	450,00	

14. Selección del soporte

Los soportes más utilizados para columnas altas en posición vertical son los soportes de falda ya que no someten a la carcasa del recipiente a demasiada tensión, por eso se elegirá este tipo de soporte. Consisten en una carcasa cilíndrica o cónica (ver Figura 14.1) con sus correspondientes aperturas para la conexión de líneas o equipos asociados [5].

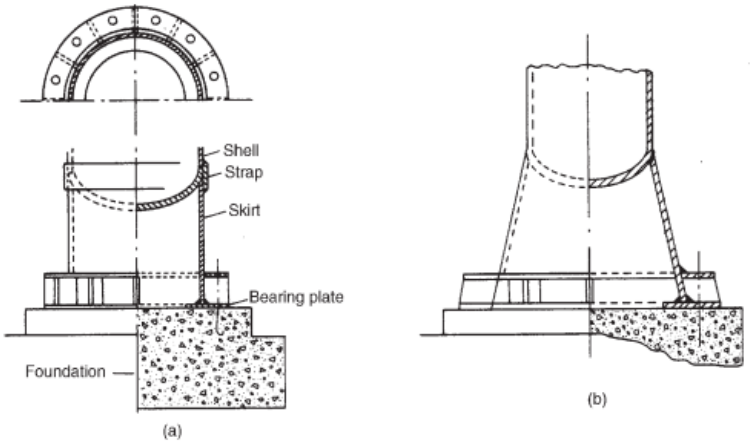


Figura 14.1: Esquemas típicos para soportes de falda (a) cilíndrico (b) cónico. Fuente: [5]

Dado el alcance del presente proyecto no se diseñará rigurosamente el soporte. Tendrá que ser diseñado una vez se conozcan las dimensiones finales de la columna y se haya hecho un análisis de cargas más exhaustivo.

15. Bibliografía

1. EL BLOG DE EDUARDO MOSQUEIRA. *La refinería de Coruña, una joya nocturna.* [Sitio web]. A Coruña. [Consultado el 15 de abril de 2019]. Disponible en: https://emosqueira.com/2017/02/04/la-refineria-de-coruna-una-joya-nocturna/

2. KISTER, HENRY Z. *Distillation Design.* 1º Edición. Mc-Graw Hill, 1992. 710p. ISBN 0-07-034909-6

3. SMITH, R. *Chemical Process Design and Integration*. 1ª Edición. Manchester: Wiley and Sons, 2005. ISBN 0-171-48681-7.

4. WANKAT, P.C. *Separation Process Engineering*. 3ª Edición. New Jersey: Prentice Hall, 2012. ISBN 0-13-138227-6

5. SINNOTT, R.K. *Chemical Engineering Design*. 4ª Edición. Estados Unidos de América: Coulson & Richardson Chemical Engineering Series, 2005. Vol. 6. ISBN 0-7506-6538-6

6. LUDWIG, E.E. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Vol 2.* 3ª Edición. Estados Unidos de América: Butterworth-Feinemann, 1997. ISBN 0-88415-025-9

7. SHIRAS, R.N., D. N. Hansen, C.H. Gibson. *Calculation of Minimum Reflux in Distillation Columns.*1950. V. 42, p. 871.

8. WALAS, S.M. *Chemical Process Equipment. Selection and Design*. 1ª Edición. Estados Unidos de América: Butterworth-Feinemann, 1990. ISBN 0750693851.

9. MATWEB, MATERIAL PROPERTY DATA. [Sitio web] Disponible en: http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=6861d2e7dd8c469a9345cabd6d8487ee

10. TURTON, R. et al. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 3ª Edición. Estados Unidos de América: Prentice Hall, 2008. ISBN 0-13-512966-4

11. ROCKWOOL. [Sitio web] Roermond. Disponible en: https://rti.rockwool.com/applications/industrial/columns/

12. ROCKWOOL. [Sitio web] Roermond. Disponible en: https://rti.rockwool.com/products/industrial/prorox-sl-930/?selectedCat=industrial%20-%20all%20africa

PARTE C

DIMENSIONAMIENTO VÁLVULAS DE ALIVIO

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

ÍNDICE

1. Objeto 2
2. Válvula de alivio PSV-141 2
   2.1. Introducción 2
   2.2. Dimensionamiento de la válvula 2
   2.3. Selección de la válvula de alivio PSV-141 6
3. Válvula de alivio PSV-143 7
   3.1. Introducción 7
   3.2. Dimensionamiento de la válvula de alivio 7
   3.3. Selección de la válvula 9
4. Bibliografía 10

1. Objeto

El dimensionamiento de una válvula de alivio tiene como objetivo el cálculo del área de apertura del dispositivo en una situación desfavorable en la que se produce una sobrepresión en un equipo y es necesario reducirla liberando contenido hasta que esta se estabilice alejándose de una situación peligrosa.

El objetivo de esta Parte C del Anexo II. Cálculos Justificativos, es calcular las dimensiones de las válvulas de alivio de los dos equipos diseñados en este anexo: la válvula PSV-141 del Reactor R-101 y la válvula PSV-143 de la Fraccionadora T-202.

Ambos equipos constan de un sistema de control que debería alejar los escenarios peligrosos, sin embargo, al tratarse de recipientes a presión, es obligatorio instalar los dispositivos de alivio necesarios tal y como indica el Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias, y el Real Decreto 2085/1994, del 20 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas. En estos documentos legales, también se indican los códigos de diseño que hay que seguir para la instalación de los dispositivos de alivio anteriormente mencionados.

El desarrollo del diseño se realizará siguiendo la norma API RP 520 para el dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos.

2. Válvula de alivio PSV-141

2.1. Introducción

La válvula de alivio PSV-141 es la válvula de seguridad del Reactor R-101, que opera a una presión de 50 en fase líquida, por lo que deberá estar diseñada para drenar el reactor en caso de un episodio de sobrepresión inesperado. A continuación se explica la modelación matemática del comportamiento del líquido a través de la válvula para calcular el área necesaria para liberar presión de forma adecuada, y seleccionar la válvula según catálogos comerciales.

Para realizar el dimensionamiento, es necesario fijar un valor correcto de sobrepresión en la que la válvula se abra, ya que para presiones muy cercanas a la presión de consigna el área necesaria para el alivio es excesivamente grande. A medida que el valor de sobrepresión establecido es menos estricto, el área de alivio se reduce a valores asequibles. Por este motivo, la elección de una correcta sobrepresión también e parte del diseño de la válvula de alivio.

Usualmente, los valores se encuentran en un rango entre un 10 y 25% de la presión de consigna. Para sobrepresiones inferiores al 10%, además de obtener un área excesiva, también aparecen problemas de *chattering* (vibración irregular) causados por un flujo de alivio demasiado bajo que provoca un mal cierre de la válvula al volver a su posición inicial [1].

2.2. Dimensionamiento de la válvula

Una vez se han introducido los conceptos básicos de los dispositivos de alivio, se plantea el problema asociado al Reactor R-101. En este equipo se producen una serie de reacciones exotérmicas de oligomerización, que pueden ser designadas dentro del grupo de polimerizaciones, hasta un cierto grado finito del monómero inicial. Como es ampliamente conocido, las reacciones de polimerización son dignas de extremar la precaución por su gran tendencia a descontrolarse. Una situación de reacción descontrolada de polimerización

causaría, además de causar un aumento de temperatura indeseable, una situación de sobrepresión muy peligrosa en el reactor que ya tiene una presión de operación de [redacted], por lo que es necesario tomar cautelosas medidas en el diseño de la válvula.

El Reactor R-101 opera en fase líquida, por lo que el comportamiento de flujo se aproxima de forma sencilla. Referenciando la obra *Chemical Process Safety* de Daniel A. Crowl [2], el flujo de líquido a través de una válvula de alivio se puede aproximar al comportamiento de un líquido a través de un orificio.

Se aplicará el caso para una válvula de alivio convencional tipo presión directa, ya que son las válvulas de seguridad más comunes en la industria química de procesos. Este tipo de válvulas se abren cuando se alcanza la presión de tarado por efecto de la carga del fluido, normalmente a una sobrepresión entre el 10 y 25% para líquidos. En la Figura 1 se muestra un esquema de este tipo de válvula.

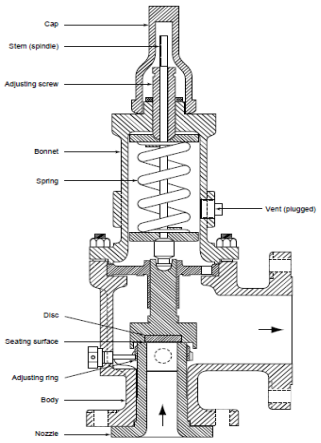


Figura 1 Válvula de seguridad de presión directa. Fuente: [1]

La ecuación para representar este tipo de flujo se deriva de la ecuación general del balance de energía mecánica. Las unidades siguen el sistema de unidades ingles porque las correlaciones desarrolladas por Crowl mantienen este sistema.

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta\left(\frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c}\right) + \frac{g}{g_c}\Delta z + F = -\frac{W_s}{\dot{m}} \qquad [1]$$

Donde:

- P es la presión $\left(\frac{in^2}{ft^2}\right)$
- ρ es la densidad $\left(\frac{lb_m}{ft^3}\right)$
- $\bar{u}$ es la velocidad media del fluido $\left(\frac{ft}{s}\right)$
- g_c es al constante gravitacional $\left(32{,}17\ \frac{ft\ lb_m}{lb_f\ s^2}\right)$
- α es el factor de corrección de velocidad (1 para flujo pistón y turbulento)
- g es la aceleración de la gravedad $\left(\frac{ft}{s^2}\right)$
- z es la altura (ft)
- F es el término de pérdida por fricción $\left(\frac{ft\ lb_f}{lb_m}\right)$
- W_s es el trabajo de eje $(ft\ lb_f)$
- $\bar{m}$ es el caudal másico $\left(\frac{lb_m}{s}\right)$.

Como puede observarse, el primer término del balance corresponde a fluidos incompresibles. Para el desarrollo de la estimación del área de alivio de la válvula, se asumirá que la densidad es constante, siguiendo un comportamiento de fluido incompresible

A medida que el fluido se escapa por el orificio, la presión del líquido dentro del recipiente se irá convirtiendo en energía cinética. Además, la fricción del líquido en la pared y los límites de orificio provocará que parte de esta energía cinética se transforme en energía térmica, resultando en una reducción de la velocidad de escape del fluido.

El término ΔP se corresponde a la diferencia de presión a lo largo del dispositivo de alivio. El trabajo de eje es cero, y la velocidad del fluido dentro del recipiente se considera despreciable. La diferencia de altura Δz también se aproxima a cero ya que no es considerable. Por otro lado, las pérdidas por fricción se aproximan con un coeficiente de descarga C_1.

$$-\frac{\Delta P}{\rho} - F = C_1^2\left(-\frac{\Delta P}{\rho}\right) \quad [2]$$

Desarrollando la ecuación con estas consideraciones y definiendo de nuevo el coeficiente de descarga $C_o = C_1\sqrt{\alpha}$ se obtiene una expresión para la velocidad media del fluido a través del orificio:

$$\bar{u} = C_o\sqrt{\frac{2g_c\Delta P}{\rho}} \quad [3]$$

El flujo volumétrico Qv es el producto del área por la velocidad media del fluido ($Q_v = \bar{u}A$). Sustituyendo en la expresión anterior, se obtiene una ecuación que representa el área de alivio.

$$A = \frac{Q_v}{C_o\sqrt{2g_c}}\sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} \quad [4]$$

La ecuación tiene directa aplicación respetando las unidades del SI o del sistema inglés.

Sin embargo, existen correlaciones desarrolladas por el *American Petroleum Institute* (API) que consideran diferentes aspectos de viscosidad y situaciones más realistas de funcionamiento de la válvula de alivio. La expresión se facilita dentro de la norma API RP 520, y tiene aplicación para válvulas con certificación de capacidad del código ASME.

$$A = \frac{11{,}78Q_v}{C_oK_WK_cK_v}\sqrt{\frac{G}{P_1 - P_2}} \quad [5]$$

En donde A es el área de alivio (mm^2), Q_v es el flujo volumétrico a través del dispositivo (L/min), G es la densidad relativa del fluido respecto al agua, Kw, Kc y Kv son los factores de corrección adimensionales por contrapresión, disco de ruptura y viscosidad, Co es el coeficiente de descarga, que se asume 0,65 para maximizar el área de alivio, P_1 es la presión de alivio (o presión de tarado), expresada en kPa, que corresponde a la presión de operación manométrica más la sobrepresión establecida del 10%, P_2 es la contrapresión manométrica (kPag), que es la atmosférica.

El factor de corrección de viscosidad aproxima las pérdidas por fricción debidas a flujo de fluidos viscosos a través de la válvula. Su valor depende del número de Reynolds, el cual es necesario a su vez para calcular el área de venteo, por lo que el procedimiento de cálculo es iterativo comenzando con una suposición de K_v=1 (Re>5000), que será comprobada y ajustada posteriormente en caso de ser necesario siguiendo la gráfica de la Figura 2.

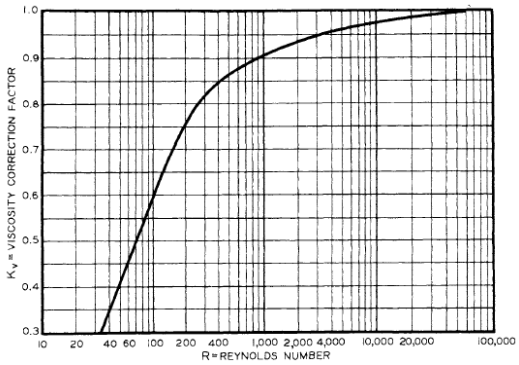


Figura 2 Factor de corrección de viscosidad para dispositivos de alivio de líquidos. Fuente: API RP 520

El factor de corrección de contrapresión K_w solo cobra importancia para válvulas de alivio con arreglos con bridas para mantener la contrapresión. Para este caso no se aplicará corrección de contrapresión por lo que K_w=1. El factor K_c solo se aplica cuando se combina la válvula con un disco de ruptura. Al no ser el caso, K_c=1.

Antes de que el código ASME incorporase los requerimientos para certificación de capacidades en las válvulas, estas eran dimensionadas para líquidos utilizando la siguiente expresión.

$$A = \frac{11{,}78\ Q_v}{C_o K_w K_c K_v K_p} \sqrt{\frac{G}{1{,}25 P_s - P_b}} \qquad [6]$$

Con esta expresión se consiguen generalmente diseños de válvulas sobredimensionadas, en las que para sobrepresiones diferentes a 25% se aplica el factor de corrección K_p de la gráfica de la Figura 3 que para una sobrepresión del 10%, K_p=0,6. En la ecuación, P_s se refiere a la presión de operación manométrica (kPa_g) y P_b es la contrapresión total (kPa_g).

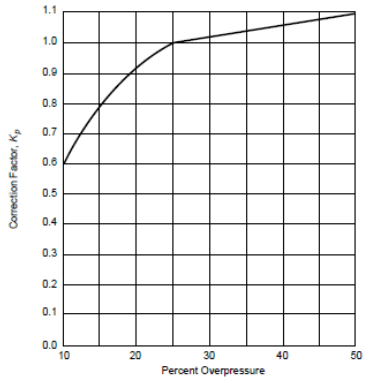


Figura 3 Factor de corrección de la sobrepresión, K_p. Fuente: Norma API RP 520

Los resultados obtenidos para la válvula de alivio con certificación ASME y sin certificación se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Cálculo del área de alivio de las válvulas de seguridad. Fuente: Elaboración propia

Información no disponible en la versión pública

Como se puede observar, el valor de las áreas coincide con lo comentado anteriormente. La expresión para las válvulas no certificadas tiende a sobredimensionar el tamaño de estas, lo que no es deseable por lo expuesto acerca de los problemas de *chattering*.

Una vez se ha calculado el área necesaria para las válvulas de alivio, se comprueba que el número de Reynolds es suficientemente grande para que el coeficiente correctivo de viscosidad tenga un valor de 1. La Tabla 2 ofrece los resultados y comprobación.

Tabla 2 Comprobación del coeficiente de corrección de la viscosidad. Fuente: Elaboración propia

Información no disponible en la versión pública

2.3.Selección de la válvula de alivio PSV-141

El siguiente paso es normalizar el diámetro de orificio calculado, puesto que los proveedores no facilitan válvulas hasta el milímetro de exactitud. La selección se hace en base a la disponibilidad comercial, generalmente seleccionando la válvula con el tamaño inmediatamente más grande al calculado.

La válvula de alivio de presión Crosby es la que mejor se adapta a las condiciones del equipo. Son válvulas de alivio de presión y seguridad directamente operadas por resortes, ampliamente utilizadas en el refinamiento de petróleo y gas.

Buscando en el catálogo de la empresa Emerson [3], la válvula con el orificio normalizado inmediatamente superior al calculado corresponde a una Válvula Crosby Tipo J con un tipo de orificio H, correspondiente a un área efectiva API normalizada de 506 mm^2 (0,785 in^2). Entre los diferentes estilos de válvulas, las que permiten una operación con líquidos son las válvulas estilo JLT-, JOS y JBS-. Entre estos tipos, debe atenderse a la presión y temperatura de operación atendiendo a los criterios de catálogo a través de la Figura 4.

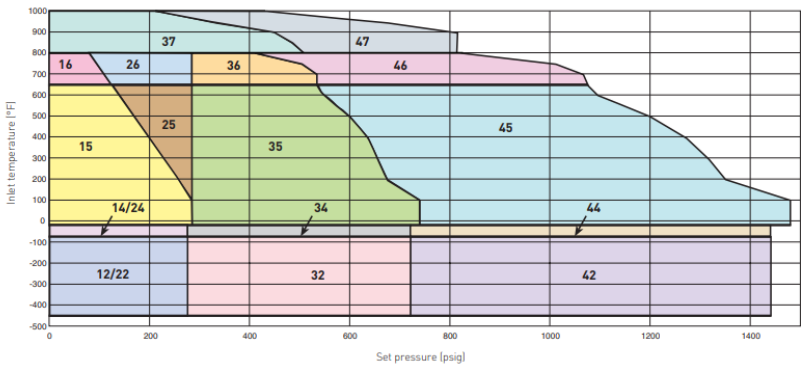


Figura 4 Gráfico Presión/Temperatura límite para el número de serie de las válvulas de alivio. Fuente: [3]

Para una presión de operación de [redacted] ([redacted]) en el rango de temperatura de [redacted] un estilo JLT-35 puede ser una opción. Sin embargo, la presión de operación máxima que permite son [redacted] por lo que habría que estudiar la opción de seleccionar una válvula estilo JOS-H-E-45 con [redacted] de presión máxima, lo que maximizaría la seguridad en caso de sobrepresión.

En el alcance de esta selección se presentan dos alternativas de válvulas de alivio a estudio, en la Tabla 3.

Tabla 3 Características de las opciones de válvulas para PSV-141. Fuente: [3]

	Tipo	**Orificio**	**Serie**	**Número de serie**
Opción 1	J	H	JLT-	35
Opción 2	J	H	JOS-H-E-	45

	Dimensiones (mm)				**Peso (kg)**
	E	F	X	Altura	
Opción 1	130	124	46	597	27
Opción 2	154	162	46	679	34

Las letras de las dimensiones se siguen según la Figura 5.

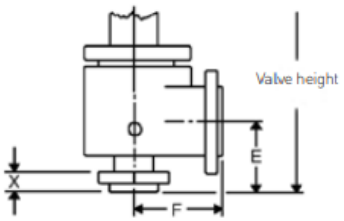


Figura 5 Esquema de dimensiones de la válvula de alivio. Fuente: [32]

3. Válvula de alivio PSV-143

3.1. Introducción

Para el diseño de la válvula de alivio PSV-143 se tendrá en cuenta la situación más común que puede llevar a un aumento de presión dentro de una columna de destilación: la situación de no reflujo. Cuando falla la bomba de reflujo se produce un aumento de nivel en el acumulador de cabezas y, como consecuencia, el líquido asciende hasta el condensador disminuyendo su eficiencia. Esto se traduce en la incapacidad de condensar la corriente de vapor obtenida por cabezas y, como consecuencia, un aumento de la presión en el interior de la columna.

Dado el escenario anteriormente mencionado, el *reboiler* seguirá produciendo vapor a la temperatura de ebullición de la mezcla de colas (295 ^{o}C) y, dado que no hay reflujo, todo el vapor se extenderá a lo largo de la torre sin existir la posibilidad de condensarlo en cabezas. Esto provocará un aumento de presión en la columna que desencadenará la apertura del dispositivo de alivio, evitando así un escenario de accidente.

3.2. Dimensionamiento de la válvula de alivio

En primer lugar, hay que tener en cuenta que, según el escenario de sobrepresión planteado, el fluido a evacuar será el vapor generado en el *reboiler*.

Si un fluido compresible se expande a través de un orificio, su velocidad y volumen específico aumentan a medida que decrece la presión aguas abajo. Para unas condiciones dadas aguas arriba el flujo másico a través del orificio aumentará hasta que se alcance una velocidad límite, correspondiente a la velocidad del sonido en el fluido. Dicho flujo másico es el flujo másico crítico [1].

Para poder dimensionar la válvula de alivio es necesario conocer si se produce flujo crítico a través del orificio. Dicha condición se puede calcular a través de la relación de presiones críticas, que se puede estimar como:

$$\frac{P_{cf}}{P_1} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad [7]$$

Donde:

- P_{cf}: Presión crítica en el orificio.
- P_1: Presión de alivio aguas arriba. Presión de timbre más la sobrepresión permitida más la presión atmosférica.
- k: Relación de calores específicos para cualquier gas ideal, en este caso 1,4.

Si la presión aguas debajo de la boquilla es igual o menor a la presión crítica (P_{cf}), entonces se darán las condiciones de flujo crítico. Los datos y resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Resumen de datos y resultados para comprobación de flujo crítico. Fuente: Elaboración propia.

P_{timbre} (kPa)	186,00
Sobrepresión	10%
P_1 (kPa_a)	305,93
k	1,40
P_{cf} (kPa_a)	161,61

La presión de timbrado de la válvula corresponde con la de diseño del recipiente ya que, como indica la norma, ambas presiones han de coincidir cuando las normas de diseño sólo se han usado para calcular los espesores mínimos de pared y no se han hecho cálculos para determinar la presión máxima de trabajo permitida (*MAWP*).

Dado que la válvula de seguridad descargará el vapor al sistema de antorcha, habrá que conocer a que presión se encuentra la línea de descarga para poder determinar si el flujo es crítico o no. La línea de antorcha en la unidad de ETBE de la Refinería de A Coruña se encuentra, habitualmente, en torno a una presión de 1 mbar, por lo que será muy complicado que no se produzca flujo crítico.

Las válvulas de seguridad que operan bajo condiciones de flujo crítico deben ser diseñadas a través de la siguientes ecuación:

$$A = \frac{V \cdot \sqrt{T \cdot Z \cdot G}}{1{,}175 \cdot C \cdot K_d \cdot P_1 \cdot K_b \cdot K_c} \quad [8]$$

Donde:

- A: Área efectiva de descarga en el dispositivo, mm^2.
- W: Flujo másico a través del orificio, kg/h.
- C: Coeficiente determinado a través de la relación de calores específicos, k. Se puede comprobar a través de la Figura 6
- K_d: Coeficiente de descarga. Adquiere el valor de 0,975 para válvulas de alivio instaladas con o sin disco de ruptura en combinación.
- P_1: Presión de alivio aguas arriba, kPa_a.
- K_b: Factor de corrección de capacidad por efecto de la contrapresión. Toma el valor de 1 para válvulas convencionales y accionadas por piloto.

- K_c: Factor de corrección de combinación para instalaciones con un disco e ruptura a mayores. Es igual a 1 cuando no hay ningún disco instalado.
- T: Temperatura de alivio, K.
- Z: Factor de compresibilidad para la desviación del comportamiento ideal del gas. Se tomará igual a la unidad.
- M: Peso molecular del vapor en las condiciones de alivio, kg/kmol.
- V: Flujo volumétrico a través del orificio en condiciones normales, Nm^3/min.
- G: Gravedad específica del gas en condiciones estándar referidas al aire.

Se decide calcular el área efectiva de descarga a través de la Ecuación 10 ser la de más fácil aplicación, teniendo en cuenta que el flujo másico descargado será la relación de *boilup* de la torre y las condiciones del vapor serán las mismas que en el *reboiler*. En la Tabla 5 se muestran los datos y el resultado obtenido.

Tabla 5: Resultados. Fuente: Elaboración propia.

W (kg/h)	7831,83
C	356
K_d	0,975
P_1 (kPa_a)	305,93
K_b	1
K_c	1
T (K)	568
Z	1
M (kg/kmol)	227,78
A (mm^2)	**1532,74**

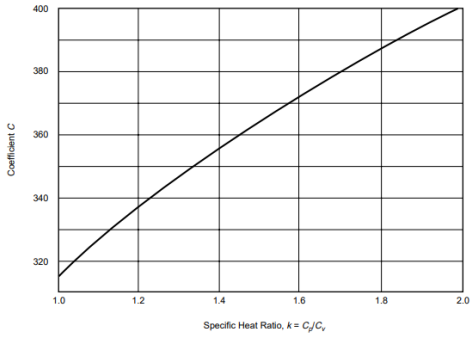


Figura 6 Estimación del coeficiente Ca través de la relación de calores específicos. Fuente: [1]

3.3. Selección de la válvula

Introduciendo los datos mostrados anteriormente en el software "*Emerson PRV2SIZE"* de la empresa Emerson se mostrarán automáticamente las válvulas de alivio que cumplen los requisitos deseados que están presentes en su catálogo, de modo que la selección de la válvula se llevará a cabo a través de este software.

Todas las válvulas ofrecidas por el software tienen un orificio tipo K y son de la serie J. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7.

Click to select	Brand	Model	Valve Type	Valve Type	Size / Orifice	Required Orifice Area (for Pressure) (mm²)	Rated Flow Capacity (kg/hr)
Select	Crosby®	JLT-JBS-BP-E	Balanced Bellows + Balan...	BB	K	1236,988	8479,939
Select	Crosby®	JBS-BP-E	Balanced Bellows + Balan...	BB	K	1243,417	8436,092
Select	Crosby®	JBS-E	Balanced Bellows, Direct ...	BB	K	1243,417	8436,092
Select	Crosby®	JLT-JBS-E	Balanced Bellows, Direct ...	BB	K	1236,988	8479,939
Select	Crosby®	JOS-E	Conventional, Direct Sprin...	CS	K	1243,417	8436,092
Select	Crosby®	JLT-JOS-E	Conventional, Direct Sprin...	CS	K	1236,988	8479,939

Figura 7 Resultados obtenidos a través del software PRV2SIZE.

Como se comentó anteriormente, se utilizará una válvula convencional por lo que sólo serían indiadas las del modelo JOS-E y JLT-JOS-E. Ya que apenas existe diferencia en el caudal de descarga se optará por el modelo JOS-E, que es el más económico. La hoja reportada con las características de la válvula se incluye adjunta en este documento.

4. Bibliografía

1. INSHT. *Válvulas de seguridad: selección*. NTP 510. 1999. [en línea] [Fecha de consulta: 19 Junio 2019] Disponible en: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_510.pdf
2. CROWL D, LOUVAR J. *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications. Chapter 8: Introduction to Reliefs & Chapter 9: Relief Sizing*. 2ª edición. Estados Unidos de América: Ed. Prentice-Hall, 2002. ISBN: 0-13-018176-5
3. EMERSON. *Pressure Relief valvs Overview*. [en línea] [Consulta: 12 Junio 2019] Disponible en: https://www.emerson.com/es-es/automation/valves-actuators-regulators/crosby

ANEXO III

CALORES ESPECÍFICOS

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Figuras para calores específicos

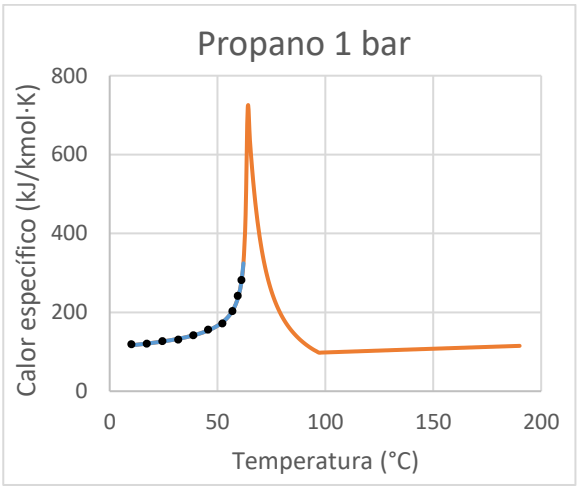


Figura 1: Calor específico del propano a 1 bar.

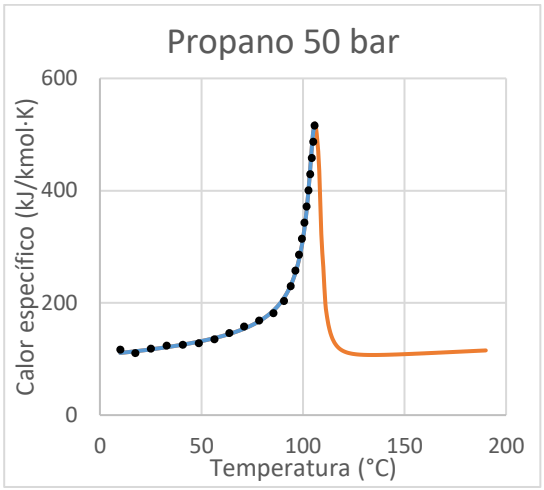


Figura 2: Calor específico del propano a 50 bar.

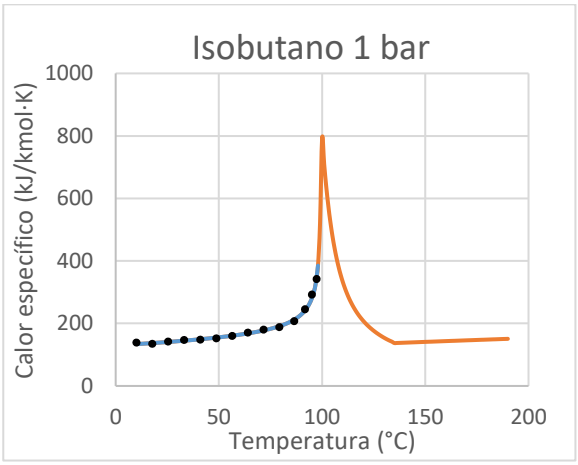


Figura 3: Calor específico del isobutano a 1 bar.

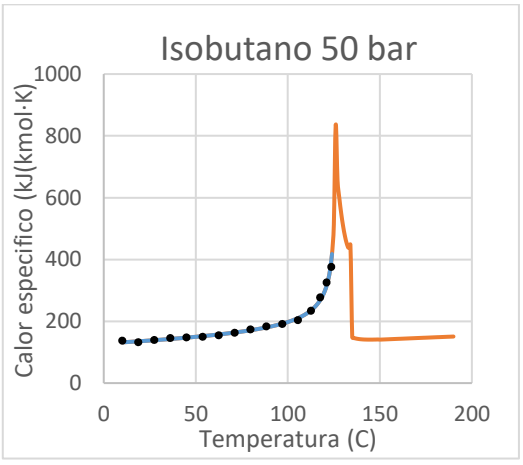


Figura 4: Calor específico del isobutano a 50 bar.

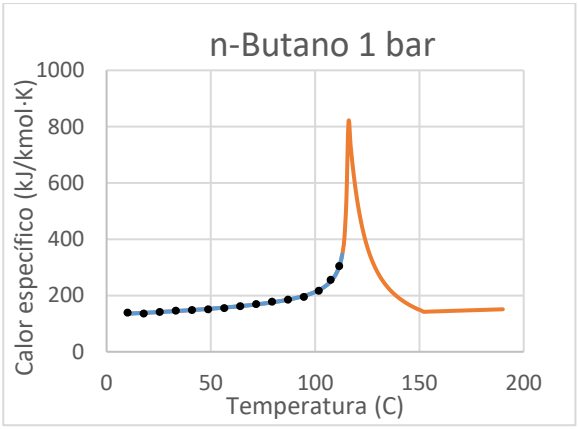


Figura 5: Calor específico del n-butano a 1 bar.

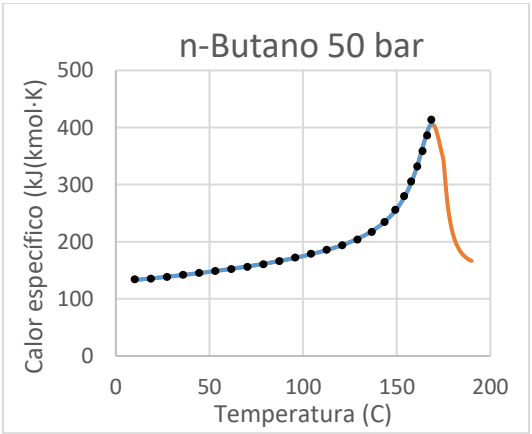


Figura 6: Calor específico del n-butano a 50 bar

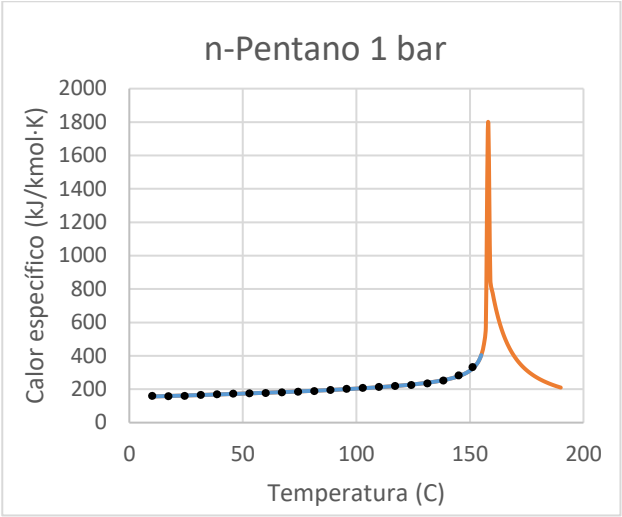


Figura 7: Calor específico del n-pentano a 1 bar.

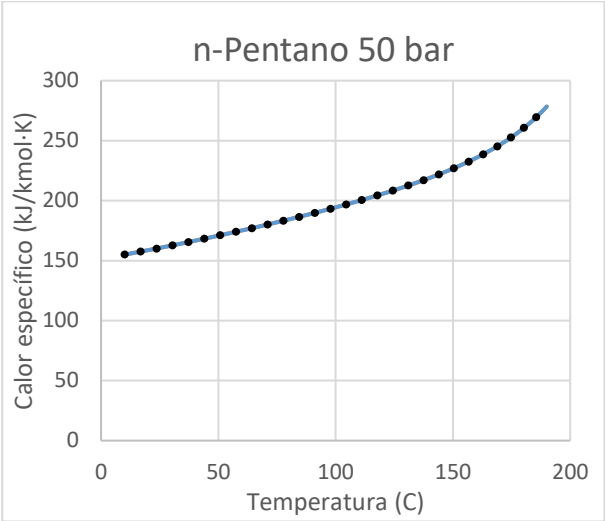


Figura 8: Calor específico del n-pentano a 50 bar.

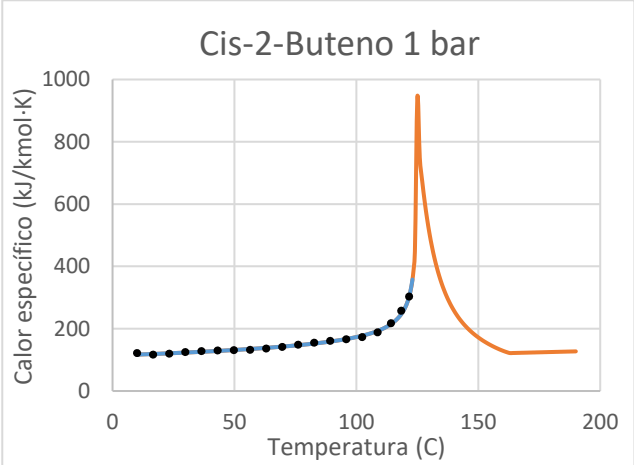


Figura 9: Calor específico del cis-2-buteno a 1 bar.

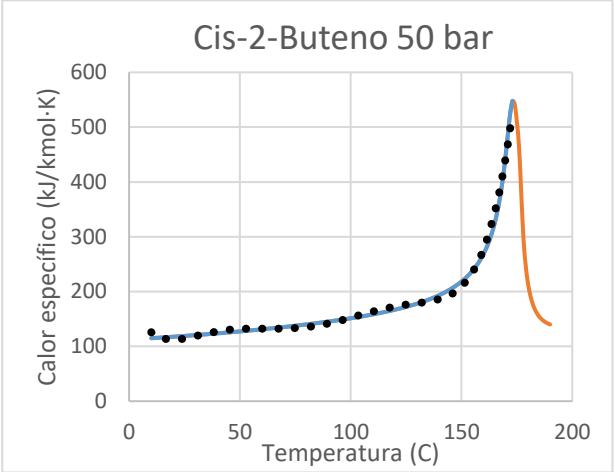


Figura 10: Calor específico del cis-2-buteno a 50 bar.

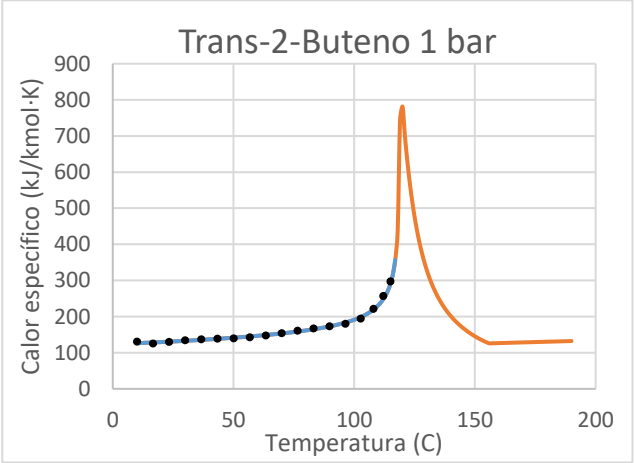


Figura 11: Calor específico del trans-2-buteno a 1 bar.

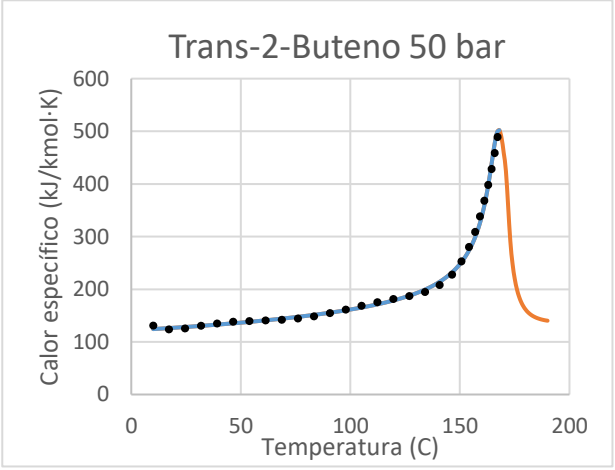


Figura 12: Calor específico del trans-2-buteno a 50 bar.

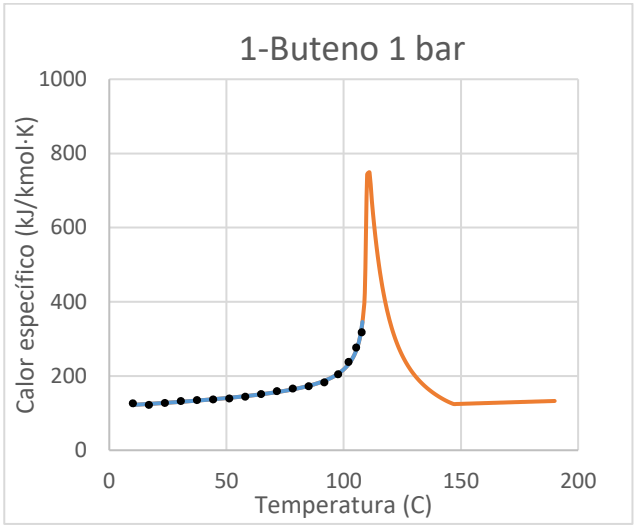


Figura 13: Calor específico del 1-buteno a 1 bar.

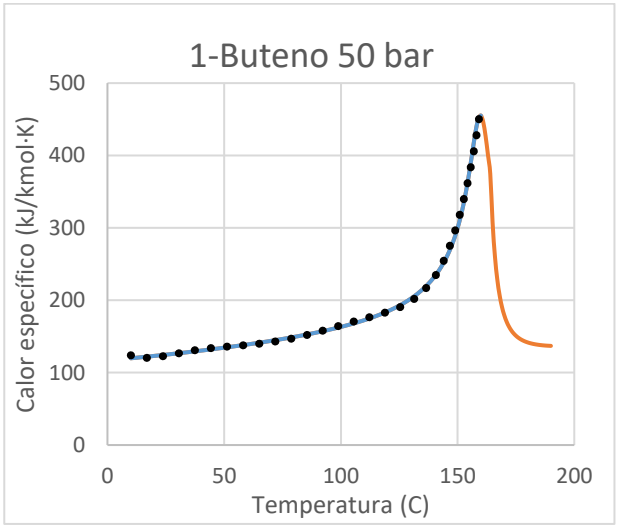


Figura 14: Calor específico del 1-buteno a 50 bar.

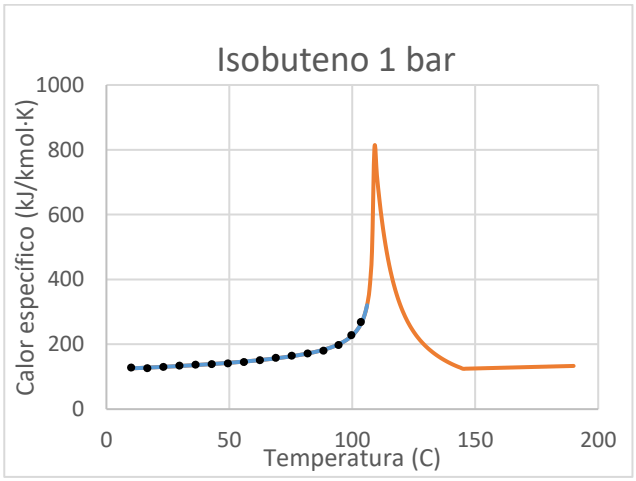


Figura 15: Calor específico del Isobuteno a 1 bar.

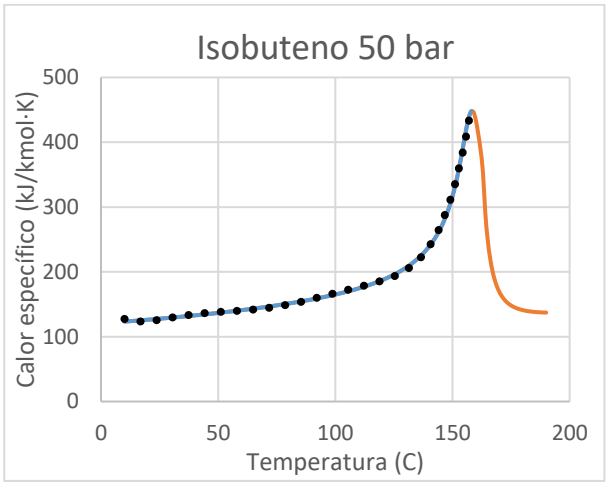


Figura 16: Calor específico del Isobuteno a 50 bar.

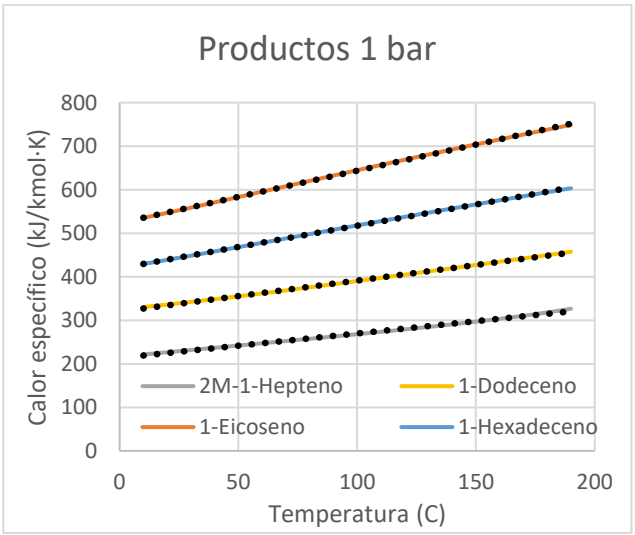


Figura 17: Calor específico de los productos a 1 bar.

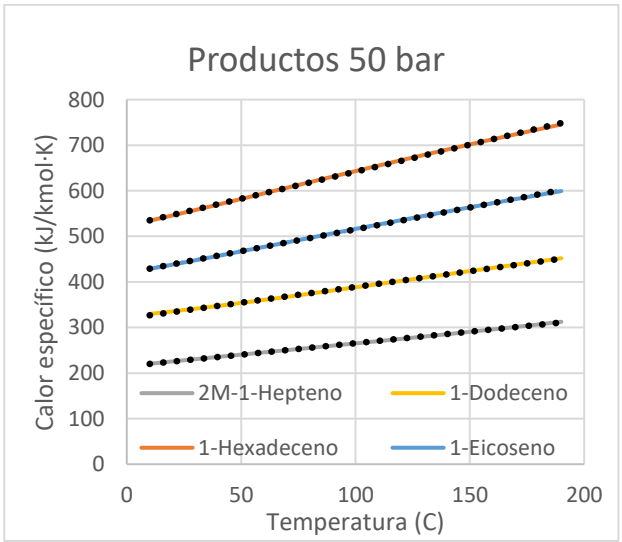


Figura 18: Calor específico de los productos a 50 bar

Correlaciones para calores específicos

Tabla 1. Correlaciones entre calores específicos y temperatura a 1 bar. Fuente: Elaboración propia

Presión	**1 bar**		
Compuesto	Correlación	T máxima (°C)	R^2
Propano	$y = 4{,}61\cdot10^{-7}x^6 - 9{,}04\cdot10^{-5}x^5 + 7{,}04\cdot10^{-3}x^4 - 2{,}77\cdot10^{-1}x^3 + 5{,}77x^2 - 59x + 3{,}48\cdot10^{2}$	62	0,996
Isobutano	$y = 2{,}85\cdot10^{-8}x^6 - 8{,}34\cdot10^{-6}x^5 + 9{,}57\cdot10^{-4}x^4 - 5{,}43\cdot10^{-2}x^3 + 1{,}58x^2 - 21{,}7x + 2{,}43\cdot10^{2}$	98	0,990
n-butano	$y = 7{,}67\cdot10^{-9}x^6 - 2{,}54\cdot10^{-6}x^5 + 3{,}28\cdot10^{-4}x^4 - 2{,}08\cdot10^{-2}x^3 + 6{,}78\cdot10^{-1}x^2 - 10x + 1{,}89\cdot10^{2}$	113	0,995
n-Pentano	$y = 1{,}18\cdot10^{-9}x^6 - 5{,}20\cdot10^{-7}x^5 + 8{,}94\cdot10^{-5}x^4 - 7{,}48\cdot10^{-3}x^3 + 3{,}14\cdot10^{-1}x^2 - 5{,}65x + 1{,}93\cdot10^{2}$	155	0,994
1-buteno	$y = 1{,}21\cdot10^{-8}x^6 - 3{,}85\cdot10^{-6}x^5 + 4{,}80\cdot10^{-4}x^4 - 2{,}94\cdot10^{-2}x^3 + 9{,}24\cdot10^{-1}x^2 - 13{,}4x + 1{,}93\cdot10^{2}$	108	0,993
isobuteno	$y = 1{,}04\cdot10^{-8}x^6 - 3{,}25\cdot10^{-6}x^5 + 3{,}96\cdot10^{-4}x^4 - 2{,}39\cdot10^{-2}x^3 + 7{,}37\cdot10^{-1}x^2 - 10{,}5x + 1{,}80\cdot10^{2}$	106	0,996
cis-2-buteno	$y = 5{,}98\cdot10^{-9}x^6 - 2{,}15\cdot10^{-6}x^5 + 3{,}00\cdot10^{-4}x^4 - 2{,}06\cdot10^{-2}x^3 + 7{,}18\cdot10^{-1}x^2 - 11{,}4x + 1{,}82\cdot10^{2}$	123	0,990
trans-2-buteno	$y = 7{,}65\cdot10^{-9}x^6 - 2{,}62\cdot10^{-6}x^5 + 3{,}50\cdot10^{-4}x^4 - 2{,}30\cdot10^{-2}x^3 + 7{,}69\cdot10^{-1}x^2 - 11{,}8x + 1{,}92\cdot10^{2}$	117	0,992
2-Metil-1-hepteno	$y = 0{,}563x + 213{,}5$	190	0,9962
1-Dodeceno	$y = 0{,}7135x + 319{,}94$	190	0,9991
1-Hexadeceno	$y = 0{,}9752x + 419{,}7$	190	0,9999
1-Eicoseno	$y= 1{,}2003x + 523{,}54$	190	0,9998

Tabla 2. Correlaciones entre calores específicos y temperatura a 50 bar. Fuente: Elaboración propia

Presión	**50 bar**		
Compuesto	Correlación	T máxima (°C)	R^2
Propano	$y = 2{,}51\cdot10^{-8}x^6 - 7{,}65\cdot10^{-6}x^5 + 9{,}13\cdot10^{-4}x^4 - 5{,}38\cdot10^{-2}x^3 + 1{,}63x^2 - 23{,}1x + 2{,}30\cdot10^{2}$	106	0,997
Isobutano	$y = 3{,}70E\text{-}11x6 + 9{,}06\cdot10^{-9}x5 - 4{,}92\cdot10^{-6}x4 + 6{,}50\cdot10^{-4}x3 - 3{,}38\cdot10^{-2}x2 + 1{,}12x + 1{,}21\cdot10^{2}$	154	0,999
n-butano	$y = 3{,}32E\text{-}10x^6 - 1{,}43\cdot10^{-7}x^5 + 2{,}41\cdot10^{-5}x^4 - 1{,}97\cdot10^{-3}x^3 + 8{,}24\cdot10^{-2}x^2 - 1{,}26x + 1{,}40\cdot10^{2}$	169	0,999
n-Pentano	$y = 1{,}28E\text{-}11x^6 - 6{,}18\cdot10^{-9}x^5 + 1{,}21\cdot10^{-6}x^4 - 1{,}16\cdot10^{-4}x^3 + 6{,}32\cdot10^{-3}x^2 + 2{,}28\cdot10^{-1}x + 1{,}52\cdot10^{2}$	190	1
1-buteno	$y = 1{,}18\cdot10^{-9}x^6 - 5{,}15\cdot10^{-7}x^5 + 8{,}78\cdot10^{-5}x^4 - 7{,}29\cdot10^{-3}x^3 + 3{,}05\cdot10^{-1}x^2 - 5{,}52x + 1{,}55\cdot10^{2}$	160	0,998
isobuteno	$y = 1{,}22\cdot10^{-9}x^6 - 5{,}30\cdot10^{-7}x^5 + 8{,}97\cdot10^{-5}x^4 - 7{,}40\cdot10^{-3}x^3 + 3{,}07\cdot10^{-1}x^2 - 5{,}58x + 1{,}59\cdot10^{2}$	158	0,999
cis-2-buteno	$y = 1{,}44\cdot10^{-9}x^6 - 7{,}05\cdot10^{-7}x^5 + 1{,}33\cdot10^{-4}x^4 - 1{,}22\cdot10^{-2}x^3 + 5{,}55\cdot10^{-1}x^2 - 11{,}3x + 1{,}94\cdot10^{2}$	173	0,992
trans-2-buteno	$y = 1{,}25\cdot10^{-9}x^6 - 5{,}83\cdot10^{-7}x^5 + 1{,}05\cdot10^{-4}x^4 - 9{,}26\cdot10^{-3}x^3 + 4{,}07\cdot10^{-1}x^2 - 7{,}93x + 1{,}78\cdot10^{2}$	168	0,997
2-Metil-1-hepteno	$y = 0{,}5046x + 215{,}08$	190	0,9997
1-Dodeceno	$y = 0{,}6898x + 319{,}96$	190	0,9995
1-Hexadeceno	$y = 0{,}9585x + 419{,}46$	190	0,9997
1-Eicoseno	$y = 1{,}1862x + 523{,}2$	190	0,9997

ANEXO VI

ÍNDICE DOW

(FUEGO Y EXPLOSIÓN)

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Índice

1. Introducción 2
2. Unidades de proceso 2
3. Factor de material 4
4. Factor de Riesgo de la Unidad 5
   4.1. Riesgos Generales del Proceso 5
   4.2. Riesgos Especiales de Proceso 5
5. Factor de Daño 6
6. Índice de Fuego y Explosión 7
7. Radio y área de exposición 7
8. Consecuencias del Índice de Fuego y Explosión 8
9. Bibliografía 9

1. Introducción

El Índice Dow de Fuego y Explosión es un método semicuantitativo de evaluación del riesgo potencial de un proceso basándose en índices de peligrosidad de las sustancias y las condiciones en las que se manejan. Fue desarrollado por la empresa *Dow Chemical Company* y el *American Institute of Chemical Engineering* (AiChe) y actualmente en el contexto de instalaciones industriales es uno de los de mayor interés.

Un índice es un valor numérico que mide una característica determinada y compara con una referencia. Este tipo de métodos permiten la identificación de los factores más influyentes en la gravedad de los accidentes con sustancias peligrosas y dan una visión general de las variables más influyentes.

Para la realización del análisis del Índice Dow de Fuego y Explosión (IFE) se ha utilizado una la séptima edición de la guía oficial del *American Institute of Chemican Engineers* (AIChE)

El alcance de los cálculos de este análisis de riesgo llegará hasta el cálculo de los Índices de Fuego y Explosión para el Reactor catalítico R-101 y la Fraccionadora de oligomerato T-201. Se presentará el radio de afectación ante incidentes con fuego y explosión y probabilidad de afectación al área expuesta.

2. Unidades de proceso

En la tabla a continuación se presentan los diagramas para el cálculo de los índices para el Reactor R-101 y la fraccionadora T-201, que serán comentados paso a paso posteriormente.

Tabla 1 Hoja de trabajo del Índice DOW de fuego y explosión del reactor R-101

Información no disponible en la versión pública

Tabla 2 Hoja de trabajo del Índice DOW de fuego y explosión de la fraccionadora T-201

ÍNDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN			
Localización	C.I. de A Coruña (Galicia)	**Fecha**	19/06/2019
Planta	Planta de Oligomerización de olefinas ligeras	**Unidad**	Fraccionadora T-201
Responsable(s)		Julio Sequeiros Fernández Iago Vaamonde López	
Materiales en la unidad de proceso: Pentano, 2-metil-1-Hepteno, 1-Dodeceno, 1-Hexadeceno, 1-Eicoseno			
Estado de operación: En diseño			
FACTOR DE MATERIAL (FM)			16

1. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO			**Intervalo de penalización**	**Penalización**
FACTOR BASE			1,00	1,00
A. Reacciones exotérmicas			0.30-1.25	0,50
B. Procesos endotérmicos			0.20-0.40	0,00
C. Transferencia y manejo de materiales			0.25-1.05	0,50
D. Unidades de proceso confinadas			0.25-0.90	0,90
E. Accesos			0.20-0.35	0,00
F. Drenajes y control de derrames			0.25-0.50	0,25
FACTOR DE PELIGROS GENERALES DEL PROCESO (F_1)				2,35
2. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO			**Intervalo de penalización**	**Penalización**
FACTOR BASE			1,00	1,00
A. Sustancias tóxicas			0,20-0,80	0,20
B. Operación a vacío(< 500 mm Hg)			0,50	0,00
C. Operación en o cerca del límite de inflamabilidad. [ ] Inertizado [X] Sin inertizar				
	1. Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables		0,50	0,00
	2. Paradas de proceso o fallo de purga		0,30	0,30
	3.Siempre en el intervalo de inflamabilidad		0,80	0,00
D. Explosiones de polvo			0,25-2,00	0,00
E. Presión				0,16
	Presión de operación (bar)	1,1		
	Presión de tarado (bar)	1,32		
F. Temperatura baja			0,20-0,30	0,00
G. Cantidad de material inflamable/inestable				
	Cantidad (kg) en 10 min	527,4		
	ΔH_c (Mcal/kg)	10,6		
	1. Líquidos o gases en procesos			0,16
	2. Líquidos o gases almacenados			0,00
	3. Sólidos combustibles almacenados			0,00
H. Corrosión y erosión			0,10-0,75	0,10
I. Fugas por juntas y empaquetaduras			0,10-1,50	0,30

J. Uso de calentadores con llama		0,00
K. Sistema de intercambio térmico con aceite caliente	0,15-1,15	0,00
L. Equipo rotatorio	0,50	0,50
FACTOR DE PELIGROS ESPECIALES DEL PROCESO (F_2)		2,72
FACTOR DE PELIGRO DE LA UNIDAD DE PROCESO ($F_1 \cdot F_2 = F_3$)		6,39
ÍNDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN ($F_3 \cdot MF = F\&EI$)		102,27

3. Factor de material

El factor de material (FM) es una medida de la intensidad de liberación de energía de una sustancia, compuesto o mezcla química. Puede tomar valores de 1 a 40 y depende de dos parámetros de riesgo del material en cuestión: la inflamabilidad (Ni) y la reactividad (Nr).

En el Apéndice A de la guía aparece una lista de materiales con sus correspondientes números MF, además de otros datos como la capacidad calorífica, entalpía de combustión, clasificación NFPA o temperaturas de autoignición, inflamación y ebullición. Para las sustancias que no se encuentran tabuladas en el apéndice se calcula su FM a partir de su número Ni y Nr utilizando la Tabla I de la guía.

A continuación en la Tabla 3 se muestran las sustancias presentes en el proceso con sus factores de material, sus números de clasificación NFPA y su entalpía de combustión, que será necesaria posteriormente. La entalpía de combustión se proporciona en Mcal/kg por su aplicación en el cálculo de un parámetro dentro de los peligros especiales de proceso.

Tabla 3 Parámetros de las sustancias necesarios para el cálculo del Índice DOW.

	FM	N_H	N_I	N_R	H_c (Mcal/kg)
Propano	21	2	4	0	11,10
Isobutano	21	0	4	0	11,00
n-Butano	21	1	4	0	10,80
n-Pentano	21	1	4	0	10,80
1-Buteno	21	1	4	0	11,00
Isobuteno	21	2	4	1	10,80
Cis2Buteno	21	1	4	0	10,80
Trans-2-Buteno	21	1	4	0	10,80
2-Metil-1-Hepteno	16	1	3	0	10,63
1-Dodeceno	-	-	-	-	10,59
1-Hexadeceno	-	-	-	-	10,56
1-Eicoseno	-	-	-	-	10,54

La mayor parte de las sustancias comparten un factor material de 21. En el reactor se asumirá un FM de 21 al estar presente estas sustancias en gran cantidad. En la columna el componente peligroso que se encuentra en mayor cantidad es el 2-metil-1-hepteno, por lo que se asumirá un FM de 16.

4. Factor de Riesgo de la Unidad

Una vez escogido el FM de cada unidad, la siguiente etapa consiste en el cálculo del Factor de Riesgo de la Unidad y el IFE. Esto se realiza recopilando cada uno de los Riesgos Contribuyentes indicados en los Riesgos Generales y Riesgos Especiales de Proceso de la hoja de trabajo del IIE

4.1. Riesgos Generales del Proceso

Los ítems de este apartado aumentan la magnitud de un incidente probable, y se tiene en cuenta la disposición del proceso, condiciones de drenaje, manejo y almacenamiento de productos.

A. Reacciones exotérmicas: En el reactor tienen lugar las reacciones de oligomerización que son exotérmicas. Se considera una penalización de 0,5 para reacciones de polimerización.
B. Reacciones endotérmicas: En ninguna de las unidades.
C. Transferencia y manejo de materiales: Se aplica una penalización de 0,5 a ambos equipos por carga y descarga de líquidos inflamables con punto de inflamación inferior a 37,8ºC.
D. Unidades de proceso confinadas: Para líquidos inflamables o LPG a temperaturas superiores al punto de ebullición se penaliza con 0,6. Esto se aplica a ambos equipos, pero para el reactor [redacted]
E. Accesos: Se asume acceso adecuado en la instalación. No penaliza
F. Drenajes y control de derrames: Se asume que el drenaje es dirigido hacia una piscina para evitar que el líquido quede atrapado en las unidades del proceso. Ambos equipos se penalizan con 0,25.

La suma de todos estos factores contribuyentes más el Factor Base de 1 es el Factor de Riesgo General (F_1).

4.2. Riesgos Especiales de Proceso

La explicación es la misma que para los riesgos generales. A continuación se ofrecen los valores considerados.

A. Sustancias tóxicas: La penalización se calcula multiplicando $0{,}2 \cdot N_H$, siendo N_H el mayor valor de las sustancias presentes en la mezcla. En el reactor las sustancias con mayor índice de peligrosidad para la salud son el isobuteno y el propano, con un valor de 2. En la fraccionadora la sustancia con el mayor índice es el 2-metil-1-hepteno con un valor de 1. La penalización en el reactor es de 0,4 y en la fraccionadora es 0,2.
B. Operación a vacío: Ningún equipo maneja presiones inferiores a la atmosférica.
C. Operación en o cerca del límite de inflamabilidad: Ambos equipos manejan sustancias altamente inflamables que en caso de fallo pueden encontrarse en condiciones de inflamabilidad. Se aplica un factor de 0,3 a ambos.
D. Explosiones de polvo: En el reactor se maneja un catalizador sólido que puede generar peligro en las operaciones de carga y descarga. Al tener un tamaño de partícula bastante superior (1,6 mm) a los tamaños establecidos en la guía, se penaliza de forma leve con 0,25. La columna no maneja sólidos.
E. Presión: En el reactor se opera a [redacted] (presión de tarado [redacted]), condición crítica que se penaliza mediante la gráfica de la Figura 1. Además, el manejo de gases licuados inflamables a temperaturas superiores a 37,8ºC multiplica la penalización por 1,3. La fraccionadora opera a presión atmosférica y ya no

maneja gases licuados inflamables. Las penalizaciones para el reactor y la fraccionadora son de [redacted] y 0,16 respectivamente.

F. Temperatura baja: No existen condiciones de temperatura baja en ninguno de los equipos. No hay penalización.

G. Cantidad de material inflamable/inestable:

Información no disponible en la versión pública

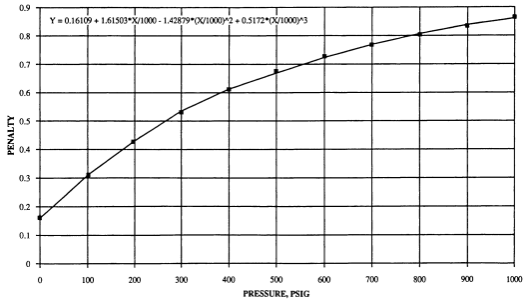


Figura 1 Factor de penalización para líquidos inflamables presión. Fuente: [1]

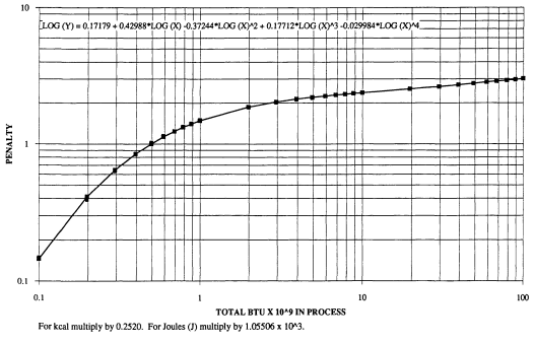


Figura 2 Factor de penalización por material inflamable. Fuente: [1]

H. Corrosión y erosión: Las sustancias del inventario del proceso no son sustancias corrosivas. Sin embargo, existe la posibilidad de que la alimentación presenta compuestos contaminantes que presenten corrosión a los equipos. Ante esta situación se aplicará una penalización leve de 0,1 a ambos equipos.

I. Fuga por juntas y empaquetaduras: Para el reactor se considera una penalización de 0,1 por estar sometido a una presión alta y se asume que las bridas y juntas están diseñadas para soportar las tensiones. La columna se penaliza con 0,3 por posibilidad de problemas con las bombas en cabezas y colas.

J. Uso de calentadores con llama: no se utilizan hornos o equipos de llama abierta en las cercanías de ambos equipos. No aplica.

K. Sistema de intercambio térmico con aceite caliente: No aplica.

L. Equipos rotativos: En el reactor no existen equipos rotativos. En la columna se penaliza con 0,5 por la implantación de bombas en las corrientes de salida.

La suma de las penalizaciones de los riesgos especiales más el factor base se denomina el Factor de Riesgo Especial del Proceso (F_2). La multiplicación de F_1 y F_2 resulta en el Factor de Riesgo de la Unidad de Proceso (F_3).

5. Factor de Daño

El Factor de Riesgo General del Proceso representa una gama lógica de 1 a 8 y es una medida de la magnitud del deterioro probable relativo por exposición combinada a varios de los factores contribuyentes usados en el cálculo de la Unidad de Proceso. A través de la Figura 3, el FM y los valores obtenidos de F_3 se puede determinar el Factor de Daño para las unidades. Este factor representa los efectos totales del fuego y explosión resultantes de la liberación de una sustancia inflamable provocada por varios de los factores comentados. Como el Factor de Riesgo obtenido para el reactor es superior a 8, se toma este valor para continuar los cálculos según establece la guía. El Factor de Riesgo para la columna es 6,39.

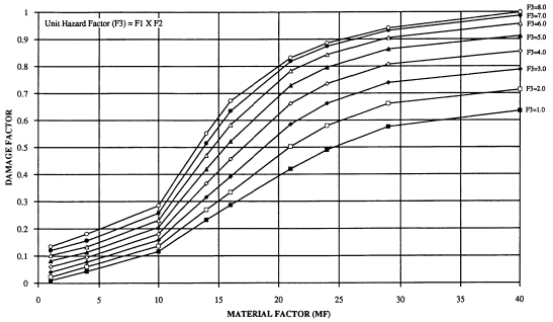


Figura 3 Factor de riesgo de la unidad. Fuente: [1]

El Factor de Daño (FD) para el reactor (FM=21, F_3=8) obtenido mediante la gráfica es de 0,84. Para la columna (FM=16, F_3=6,39) se obtiene un Factor de Daño de 0,54.

6. Índice de Fuego y Explosión

El cálculo del IFE es un procedimiento cuyo objetivo es la medida del deterioro probable que puede producirse en una planta de proceso. Los factores contribuyentes considerados: presión, tipo de reacción, temperatura, cantidad de material combustible…indican la magnitud y probabilidad de una liberación de sustancia inflamable o energía debida a fallos de control, vibración de equipos u otra fatiga por tensión.

Tabla 4 Grados de peligro en función del IFE. Fuente: adaptado de [1]

Gama del IFE	Grado de riesgo
1-60	Ligero
61-96	Moderado
97-127	Intermedio
128-158	Intenso
>159	Severo

El valor del IFE se obtiene simplemente multiplicado el Factor de Riesgo del Proceso (F_3) por el Factor Material (FM). Los **Índices de Incendio y Explosión** obtenidos para el Reactor R-101 y la Fraccionadora T-201 fueron del orden de 229 y 102, respectivamente. Observando la Tabla 4, esto clasifica al reactor como una zona de peligro severo y la fraccionadora en peligro intermedio.

7. Radio y área de exposición

Mediante la Figura 3 se puede relacionar el IFE con el radio de exposición, que representa el área probable de exposición que se hallará envuelta como resultado de los efectos combinados de los factores comentados previamente.

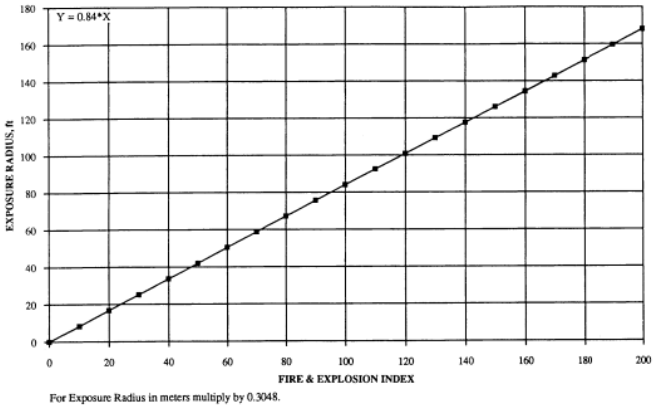


Figura 4 Radio de exposición. Fuente: [1]

El radio de exposición ante un episodio de fuego y explosión de la mezcla combustible en el reactor es de [redacted], y para la columna se obtiene un radio de exposición de 25 m. Estos valores se corresponden con un área circular probable de afectación de [redacted] y 1963,5 m^2 para los escenarios comentados en el reactor y fraccionadora, respectivamente.

Se trata de áreas de afectación con valores muy altos. Esto es razonable ya que las sustancias que manejan ambos equipos son extremadamente inflamables, sometidas a condiciones de presión y temperatura severas, por lo que en caso de incendio el alcance de la explosión de este calibre está justificado.

8. Consecuencias del Índice de Fuego y Explosión

En la Tabla 5 se resumen los valores calculados en el desarrollo de este análisis de riesgo.

Tabla 5 Resultados del análisis de riesgo Índice DOW de Fuego y Explosión. Fuente: Elaboración propia

	[redacted]	**Fraccionadora T-201**
Factor de Riesgo de la Unidad (F_3)	[redacted]	6,39
Factor Material (FM)	[redacted]	16
Factor de Daño (FD)	[redacted]	0,54
Índice de Fuego y Explosión (IFE)	[redacted]	102,3
Radio de exposición (m)	[redacted]	25
Área afectada (m^2)	[redacted]	1963

Los resultados se traducen de la siguiente forma:

- Las condiciones en el Reactor R-101 presentan un [redacted] de probabilidad de daño a [redacted] de área alrededor.
- Las condiciones en la Fraccionadora T-201 presentan una probabilidad de daño del 54% a 1963 m^2 de área alrededor.

Es evidente que un incidente de incendio o explosión no tiene una difusión perfectamente circular ni produce un equivalente daño en todas las direcciones. Esto depende de la posición del equipo, dirección del viento y ubicación del drenaje. Sin embargo se presenta el cálculo del área afectada como valor indicativo del alcance que podría acarrear el incidente.

9. Bibliografía

1. The American Institute of Chemical Engineers. *DOW's Fire & Explosion INdex Hazard Classification Guide*. 7ª Edición. AIChe technical manual. New York, 1994. [en línea] [Fecha de consulta: 19/06/2019]. Disponible en: https://www.aiche.org/publications/books/dows-fire-explosion-index-hazard-classification-guide-7th-edition

ANEXO V

CÓDIGOS IMPLEMENTADOS EN MATLAB

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Información no disponible en la versión pública

ANEXO VI

PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE EQUIPOS

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Información no disponible en la versión pública

ANEXO VII

ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Índice

1. Introducción 1
2. Capital fijo 2
3. Capital circulante 2
4. Costes de producción 2
4.1. Costes de manufactura 3
4.1.1. Costes directos de producción 3
4.1.2. Costes fijos 6
4.1.3. Costes adicionales 6
4.2. Costes de gestión 6
4.3. Coste total de operación 6
5. Ingresos 6
6. Financiación 6
7. Flujos de caja 7
8. VAN 8
9. TIR 8
10. Análisis de sensibilidad 11
10.1. CASO A: Disminución en la producción 11
10.2. CASO B: Disminución en el precio de los productos 11
10.3. CASO C: Combinación de casos A y B 11
11. Bibliografía 12

1. Introducción

En el presente Anexo se llevará a cabo un análisis de rentabilidad para la adaptación de la unidad de [redacted] en el C.I. de Repsol Petróleo A Coruña al proceso de oligomerización de butano olefínico.

Dicho análisis se realizará a través de dos indicadores: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). A mayores se calculará el tiempo de recuperación de la inversión, también conocido como *payback*.

Para poder utilizar los indicadores mencionados será necesario conocer de antemano el capital fijo, el capital circulante, los costes de producción y los ingresos estimados por la venta de los productos.

Es necesario tener en cuenta de que el presente proyecto no se basa en la construcción de una nueva planta si no que se trata de la adaptación de una unidad de una planta ya existente. A

mayores, al tratarse de la valorización de un producto que se está vendiendo actualmente, los costes serán aún más reducidos ya que muchos de los factores que aumentan el coste de operación de los procesos ya existen y no se ven incrementados por el proceso planteado.

De forma complementaria se realizará un análisis de sensibilidad para variaciones en algunas condiciones dadas.

Por último, es necesario aclarar que todos los datos extraídos de la bibliografía se encuentran, originalmente, en dólares estadunidenses. Por este motivo se presentarán directamente los valores € actualizados al tipo de cambio del día 24 de junio a las 9:05 horas, cuando 1 dólar estadounidense equivale a 0,88 euros.

2. Capital fijo

El capital fijo se encuentra detallado en el *Documento V. Presupuesto* presente en este proyecto y asciende a un valor de **952455,00€.**

3. Capital circulante

De igual manera que para el capital fijo, el capital circulante se encuentra detallado en el *documento V. Presupuesto* y asciende a un valor de **180194,20€.**

4. Costes de producción

Los costes de producción, en su mayoría estimados a través del capital fijo, no podrán ser calculados con el presupuesto presente en el *Documento V* ya que éste sólo tiene en cuenta los equipos nuevos que serían instalados en la unidad de Platformado. Para llevar a cabo el proceso de oligomerización no sólo operarán estos equipos por lo que estimar los costes de producción en base a su presupuesto sería un error. Para ello se ha calculado el capital fijo que supondría la instalación de todos los equipos y se estimarán los costes de operación en base a esa cantidad, que asciende a **5.326.168,01 €.**

Utilizando la misma clasificación que la bibliografía de referencia [2], se clasificarán los costes de operación en los siguientes puntos:

- Costes de manufactura: Todo lo relacionado con el proceso de producción.
    - Costes directos de producción
        - Materias primas
        - Mano de obra
        - Energía y utilidades
        - Mantenimiento
        - Soporte de operación
        - Laboratorio
        - Patentes y *Royalties*
        - Catalizadores y disolventes
    - Costes fijos
        - Depreciación
        - Impuestos
        - Seguros
    - Costes adicionales
        - Seguridad y protección
        - Restaurante

        - Áreas recreativas
        - Instalaciones de almacenamiento
        - Laboratorios de control
- Costes de gestión: Costes administrativos, *marketing*, investigación y desarrollo...
    - Costes administrativos
        - Salarios de directivos
        - Mantenimiento de oficinas
        - Comunicaciones
        - Dietas
    - Costes de distribución y *marketing*
        - Salarios de comerciales
        - Publicidad
        - Oficinas de ventas
    - Investigación y desarrollo

4.1. Costes de manufactura

4.1.1. Costes directos de producción

4.1.1.1. Materias primas

Los costes de materias primas no supondrán ningún gasto adicional al C.I. ya que la alimentación del proceso se obtiene en una unidad dentro de la planta. La cantidad de crudo procesada será la misma independientemente del funcionamiento del proceso de oligomerización de butano olefínico.

4.1.1.2. Mano de obra

A través de la Figura 1 se pueden calcular las horas diarias necesarias de mano de obra para satisfacer los trabajos necesarios que aseguren una correcta operación.

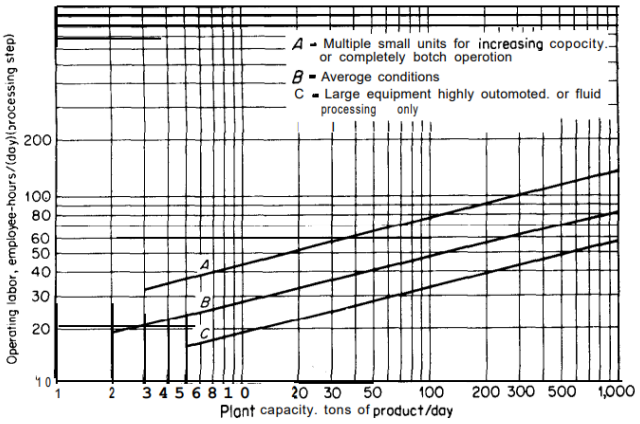


Figura 1 Horas diarias de mano de obra en función de la capacidad de la planta. Fuente: [2]

A través de la Figura 1 se estima que serán necesarias 20 horas diarias de mano de obra. A pesar de esta estimación, habrá que tener en cuenta que el proceso se implantaría en una unidad ya existente que cuenta con sus operadores de planta asociados. Además, el proceso estará altamente automatizado y no se contempla la existencia de tareas incompatibles con la distribución actual en la unidad de [redacted].

Una mano de obra de 20 horas diarias supondría la contratación de tres operadores de planta a mayores (8 horas por turno en turnos de mañana, tarde y noche) con los que quedaría más que cubierta la mano de obra. Como ya se ha comentado, no se considera necesaria la mano de obra adicional.

4.1.1.3. Energía y utilidades

El proceso se implantará en una planta operativa con suministro propio de utilidades de proceso como vapor de baja, media y alta presión, fuel gas y electricidad. El fuel gas se produce en la propia refinería como subproducto por lo que no se tendrá en cuenta. Respecto al vapor, aunque provenga de una red interna es necesario calcular el coste de su producción. Para estimar el coste se utilizará el precio del vapor de alta presión ya que en el C.I. sólo se produce vapor de alta presión (para la red de media presión se lamina el vapor de alta presión).

Según los datos obtenidos de [3], el precio para la electricidad de uso industrial en España fue, en el año 2017, de 0,083 €/kWh. Teniendo en cuenta este valor y los consumos de los equipos eléctricos obtenidos de la simulación de Aspen Hysys se calculará el gasto anual en electricidad.

En la Tabla 1 se muestran los cálculos relativos a los gastos eléctricos.

Tabla 1: Coste anual de electricidad para equipos eléctricos. Fuente: Elaboración propia a partir de Aspen Hysys.

Equipo	Potencia (kW)	€/h	€/año
P-101 A/B	18,0	1,49	11832,48
P-102 A/B	102,6	8,52	67445,14
P-201 A/B	1,0	0,08	657,36
P-202 A/B	1,0	0,08	657,36
P-203	12,8	1,06	8414,21
P-204	9,0	0,75	5916,24
P-205	4,9	0,41	3221,06

Para el cálculo del coste de la producción de vapor se utilizarán precios extraídos de la bibliografía de referencia [1]. Para el caso del vapor, se supondrá un precio de 10,56 €/t. Los flujos másicos de vapor han sido obtenidos de la base de datos de Aspen Hysys.

Tabla 2: Coste anual de vapor de utilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de Aspen Hysys.

Vapor	EQUIPO	t/h	€/h	€/año
Media presión	E102	3,38	35,70	282770,61
Alta presión	E202	3,40	35,88	284192,41
Alta presión	E204	1,71	18,05	142932,56

Los aerorefrigeradores son equipos con un alto coste operativo pero esenciales para el proceso. Dado que se desconocen los consumos de estos equipos, su coste de operación se calculará a partir de los datos obtenidos en la bibliografía de referencia [1] en la que se estima un precio de 1,3 c€/MJ. En la Tabla 3 se muestran los resultados.

Tabla 3: Coste anual de los aerorefrigeradores. Fuente: Elaboración propia a partir de Aspen Hysys.

Aerorefrigeradores	MJ/h	€/h	€/año
E-103	2672,0	35,2704	279341,568

E-104	12860,0	169,752	1344435,84

Dado el grado de desarrollo del proyecto es aún muy bajo no se conocen los consumos adicionales por luz e instrumentación. Por este motivo, se decide sobredimensionar el coste de utilidades en un 10%, alcanzando el total de **2662157,86€/año**.

4.1.1.4. Mantenimiento

Para que el proceso se mantenga dentro de su correcto funcionamiento será necesario llevar a cabo reparaciones e inspecciones periódicas, además de las que puedan surgir de forma imprevista. Para estimar el coste que esto puede suponer se suele expresar el coste de mantenimiento como un porcentaje del capital fijo. Haciendo uso de la Tabla 2 se determinará qué porcentaje del capital fijo supondrá, en principio, el mantenimiento de la unidad.

Se seleccionará un proceso normal con condiciones de operación normales ya que, debido a la presencia del reactor R-101, no procede considerarlo un proceso simple. Se tomarán los gastos de mantenimiento como un 8% del capital fijo, ascendiendo a un coste de **426093,44€/año.**

Tabla 4: Porcentajes de estimación del coste de mantenimiento en función del capital fijo. Fuente: [2]

	Maintenance cost as percentage of fixed-capital investment (on annual basis)		
Type of operation	Wages	Materials	Total
Simple chemical processes	1-3	1-3	2-6
Average processes with normal operating conditions	2–4	3-5	5-9
Complicated processes, severe corrosion operating conditions, or extensive instrumentation	3-5	4-6	7-11

4.1.1.5. Soporte de operación

Existen ciertos elementos que no son materias primas ni forman parte del mantenimiento pero sí que son necesarios para el correcto funcionamiento del proceso. Ciertos elementos como lubricantes, productos químicos y aditivos que puedan ser necesarios deben de ser incluidos en el coste de operación y se suelen expresar como un porcentaje de los gastos de mantenimiento. Según la bibliografía consultada [2] se toman como un 15% del coste de mantenimiento, lo que en el caso que nos ocupa representaría una cantidad de **63914,02€/año**.

4.1.1.6. Costes de laboratorio

No procede realizar esta estimación ya que el propio Complejo Industrial cuenta con un laboratorio propio.

4.1.1.7. Patentes y royalties

Es habitual que muchos procesos estén cubiertos por patentes y es necesario pagar los derechos correspondientes o, en su defecto, honorarios según la cantidad que se produzca. Aunque estos costes varían enormemente dependiendo del tipo de proceso se puede hacer una estimación grosera tomando un valor entre el 0 y el 6% [2]. En este caso se tomará el valor medio, un 3%

del capital inmovilizado, ya que no se trata de una planta completa si no de un proceso independiente. Los gastos por patentes representarían, de forma aproximada, **159785,04€/año**.

4.1.1.8. Catalizador

Como no existe información acerca del catalizador se ha decidido estimar su coste anual (lo que implicaría compra, transporte y regeneración) en un 1% del capital fijo, lo cual representaría una cantidad de **53261,68€/año**.

4.1.2. Costes fijos

No tiene sentido hablar de este tipo de costes dado que se trata de un proceso pequeño incorporado dentro de un Complejo Industrial. Los impuestos y la depreciación de los equipos tienen sentido cuando se habla del complejo en su conjunto, no cuando se trata de una unidad independiente dentro del mismo. Por este motivo se omitirán estos costes ya que se desconoce el grado de impacto que pueden tener sobre el complejo y no se ha encontrado información al respecto. Sí se tendrá en cuenta el coste del seguro, que representa un 1% del capital inmovilizado. Aproximadamente **53261,68€/año** serán dedicados a pagar el seguro.

4.1.3. Costes adicionales

La situación es la misma que respecto a los costes fijos. Dentro del Complejo Industrial ya están construidas cafeterías, áreas de descanso, servicios médicos, almacenes… Por este motivo no tiene sentido incluir estos costes en los costes de operación.

4.2. Costes de gestión

De nuevo, no tiene sentido hablar de este tipo de costes. Los gastos de gestión, de *marketing,* de comunicaciones, dietas y demás gastos de gestión son independientes del proceso proyectado y por lo tanto no afectan a su coste de funcionamiento.

4.3. Coste total de operación

Sumando todas las cantidades mostradas en el presente apartado se obtiene un coste de operación de **3176459,36€/año**.

5. Ingresos

Los ingresos que reportará el proceso de oligomerización de butano olefínico serán a través de la venta de sus tres productos: butano comercial, gasolina y destilado medio. Los cálculos de los ingresos por la venta de los productos se encuentran detallados en la Memoria de este proyecto. Se estimaron unos ingresos de [redacted], pero hay que tener en cuenta que el butano olefínico (alimentación del proceso que se plantea) ya está siendo vendido actualmente y eso reporta unos ingresos de [redacted]. El proceso planteado se basa en la valorización del producto olefínico comercializado actualmente por lo que, para analizar la rentabilidad, será necesario utilizar el incremento de ingresos que supondría instaurar el proceso. Este incremento de ingresos sería de **10348025€/año**. En las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran los precios de la alimentación y los productos, así como los ingresos brutos en el caso bases y en el caso de la oligomerización. Estos resultados concuerdan con los reportados por REPSOL, que sostienen que "el caso 1 (oligomerización) mostraba un beneficio potencial cercano a los [redacted]".

6. Financiación

Para poder implantar el proceso proyectado será necesario recibir financiación por parte de una entidad pública o privada. Esto significará que cada año habrá que dedicar una parte de los ingresos obtenidos por la actividad comercial a pagar la deuda contraída con la entidad

financiera (amortización e intereses). La cantidad que será necesario pagar cada año se obtiene a través de del sistema francés de amortización, que permite calcular la cuota anual a partir de la cantidad total de préstamo (P), una tasa de interés (i) que se supondrá del 7% y los años de operación de la planta (n), es decir, su vida útil.

$$R = P \cdot \left(\frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad [1]$$

Tabla 5: Cálculo de pagos necesarios para saldar la deuda contraída. Fuente: Elaboración propia.

Información no disponible en la versión pública.

El capital vivo representa la deuda pendiente de pago a cada año de vida útil. El pago de intereses anuales se calcula como los intereses (7%) sobre el capital vivo del año anterior. La cuota anual es la que se calcula a través del sistema francés y la amortización del préstamo es la diferencia entre la cuota anual y los intereses anuales.

7. Flujos de caja

Ya se dispone de todos los datos necesarios para calcular los flujos de caja excepto de la amortización anual (depreciación del inmovilizado a lo largo del tiempo), que se puede calcular a través del método alemán de cuotas fijas utilizando la siguiente expresión:

$$Amortización\ anual = \frac{Inversión\ inicial\ presupuestada}{Vida\ útil\ del\ inmovilizado} \quad [2]$$

Esta amortización supondrá **56632,46€/año**.

Para calcular los flujos de caja (y posteriormente aplicar los indicadores mencionados en la introducción del presente Anexo) se aplicará una tasa de inflación del 1,4% anual (en la Tabla 6 se muestra la media del IPC durante los pasados 10 años). El Beneficio Antes de Impuestos (BAI) será la suma de las partidas presentes hasta el momento considerando los ingresos como positivos y los gastos como negativos. Será necesario aplicar un porcentaje de impuestos (que actualmente en España oscila en torno al 30% para explotaciones industriales) para poder calcular el Beneficio Neto (que será el BAI con los impuestos descontados). El flujo de caja se calculará como el BN más la cuota de amortización anual calculada en el apartado anterior.

Tabla 6: IPC promedio de los últimos 10 años. Fuente: Adaptación de [4]

AÑO	IPC (%)	AÑO	IPC (%)

2009	-0,28	2014	-0,15
2010	1,8	2015	-0,5
2011	3,2	2016	-0,2
2012	2,44	2017	1,96
2013	1,42	2018	1,67
PROMEDIO	**1,40**		

Por último, se calculará el flujo de caja descontado a través de la ecuación [3]:

$$CF_{Descontado} = \frac{CF_{año\ n}}{(1+i)^n} \qquad [3]$$

Donde i representa la tasa de descuento, que para este cálculo se asumirá como el 10% (valor habitual).

En las Tablas 7.1 y 7.2 se muestran los flujos de caja calculados.

8. VAN

El Valor Actual Neto (VAN) utiliza los ingresos y los gastos de un proyecto para determinar su rentabilidad en términos absolutos netos. Establece todos los flujos de caja en el presente aplicando una tasa de descuento determinada (en el caso actual será del 10%) [5]. El VAN se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_o + \sum_{n=1}^{n} \frac{C_{F,n}}{(1+i)^n} \qquad [4]$$

Realmente se trata de restarle la inversión inicial a la suma de los flujos de caja descontados.

Aplicando la ecuación [4] se obtiene un **VAN de** [redacted]**.** Este valor representa el 4023% de la inversión inicial.

El VAN no sólo sirve para saber si un proyecto es rentable, también sirve para saber qué proyecto es más rentable en valor absoluto que otro. Que el VAN sea mayor que 0 significará que el valor actualizado de los flujos de caja (a la tasa de descuento elegida) generará beneficios. Si es menor que cero significará que la inversión generará pérdidas y, si es 0, no generará (en principio) ni pérdidas ni beneficios [5].

Dado que el VAN para el presente proyecto supone el [redacted] de la inversión inicial (que es muy pequeña) se determina que el proyecto es altamente rentable.

9. TIR

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se utiliza en la evaluación de proyectos de inversión y está estrechamente relacionada con el VAN. Es el valor de la tasa de descuento que hace que el valor del VAN sea igual a cero [6].

Si la TIR es mayor que la tasa de descuento significará que el rendimiento interno es superior a la tasa mínima de rentabilidad en exigida en la inversión. Si la TIR es menor que la tasa de descuento no se alcanzará la rentabilidad mínima necesaria y si la TIR se iguala con la tasa de descuento ocurre lo mismo que cuando el VAN se iguala a cero [6].

Calculando la TIR a través de la función implementada en el software Excel se obtiene un valor de [redacted], lo que indica que la inversión es altamente rentable.

Tabla 7.1: Flujos de caja de los 10 primeros años. Fuente: Elaboración propia.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS		10348025,23	10492897,58	10639798,14	10788755,32	10939797,89	11092955,06	11248256,43	11405732,02	11565412,27	11727328,04
COSTES DE OPERACIÓN		3176459,364	3220929,80	3266022,81	3311747,13	3358111,59	3405125,15	3452796,91	3501136,06	3550151,97	3599854,10
AMORTIZACIÓN		56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46
INTERESES DEUDA		79285,44	77351,44	75282,06	73067,81	70698,58	68163,49	65450,95	62548,53	59442,95	56119,97
BAI		7035647,96	7137983,88	7241860,82	7347307,91	7454355,27	7563033,96	7673376,12	7785414,97	7899184,90	8014721,52
IMPUESTOS A PAGAR		2110694,39	2141395,17	2172558,24	2204192,37	2236306,58	2268910,19	2302012,84	2335624,49	2369755,47	2404416,46
BN		4924953,57	4996588,72	5069302,57	5143115,54	5218048,69	5294123,77	5371363,28	5449790,48	5529429,43	5610305,07
FLUJO DE CAJA	-1132649,20	4981586,03	5053221,18	5125935,03	5199748,00	5274681,15	5350756,23	5427995,74	5506422,94	5586061,89	5666937,53
FLUJO DE CAJA DESCONTADO		4528714,57	4176215,85	3851190,86	3551497,85	3275162,00	3020362,40	2785420,08	2568786,94	2369035,54	2184849,73
CAJA ACUMULADA	-1132649,20	3396065,37	7572281,22	11423472,08	14974969,93	18250131,92	21270494,32	24055914,40	26624701,34	28993736,89	31178586,62

Tabla 7.2: Flujos de caja del año 10 al año 20 de explotación. Fuente: Elaboración propia.

AÑO	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INGRESOS	11891510,64	12057991,79	12226803,67	12397978,92	12571550,63	12747552,34	12926018,07	13106982,32	13290480,07	13476546,80
COSTES DE OPERACIÓN	3650252,05	3701355,58	3753174,56	3805719,00	3858999,07	3913025,06	3967807,41	4023356,71	4079683,70	4136799,28
AMORTIZACIÓN	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46	56632,46
INTERESES DEUDA	52564,38	48759,90	44689,11	40333,36	35672,71	30685,82	25349,84	19640,34	13531,18	6994,38
BAI	8132061,75	8251243,84	8372307,54	8495294,10	8620246,39	8747209,00	8876228,36	9007352,81	9140632,73	9276120,68
IMPUESTOS A PAGAR	2439618,52	2475373,15	2511692,26	2548588,23	2586073,92	2624162,70	2662868,51	2702205,84	2742189,82	2782836,20
BN	5692443,22	5775870,69	5860615,28	5946705,87	6034172,47	6123046,30	6213359,85	6305146,97	6398442,91	6493284,48
FLUJO DE CAJA	5749075,68	5832503,15	5917247,74	6003338,33	6090804,93	6179678,76	6269992,31	6361779,43	6455075,37	6549916,94
FLUJO DE CAJA DESCONTADO	2015015,95	1858415,25	1714015,90	1580866,61	1458090,27	1344878,15	1240484,55	1144221,95	1055456,40	973603,42
CAJA ACUMULADA	33193602,58	35052017,82	36766033,72	38346900,33	39804990,61	41149868,76	42390353,31	43534575,26	44590031,66	45563635,08

10. Análisis de sensibilidad

En base al estudio de mercado incluido en la memoria se han seleccionado tres casos para realizar un análisis de sensibilidad: una disminución en la producción y una disminución en el precio de los productos. En la Tabla 8 se muestran los valores de los indicadores económicos obtenidos para los casos planteados a continuación.

10.1. CASO A: Disminución en la producción

Ésta vendría dada por complicaciones operativas o disminuciones de producción en la unidad de ETBE. Para abordar un caso algo exagerado y analizar cómo afecta dicha problemática se supondrá una disminución del 20% en el flujo másico de alimentación. Esto significaría que se tratarían 11040 kg/h de *Raffinate* y por lo tanto la producción sería menor.

10.2. CASO B: Disminución en el precio de los productos

Se supondrá que, por fluctuaciones del mercado, el precio de los productos disminuye un 10% respecto al utilizado en el análisis original.

10.3. CASO C: Combinación de casos A y B

Se estudiará un efecto combinado de los casos A y B, lo que significaría una disminución de la producción acompañada de una bajada en los precios de los productos.

Tabla 8: Resumen de resultados para el análisis de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia.

CASO A			
VAN (€)	VAN (%)	TIR	*Payback*
32009249,6	2826%	312%	1
CASO B			
VAN (€)	VAN (%)	TIR	*Payback*
38778719,7	3424%	376%	1
CASO C			
VAN (€)	VAN (%)	TIR	*Payback*
26593673,5	2348%	261%	1

11. Bibliografía

1. SINNOTT R, TOWLER G. Chemical Engineering Design. Principles, practice and economics of plant and process design. 1ª edición. San Diego, CA, USA: Ed. Elsevier, 2008, ISBN 13: 978-0-506-8423-1

2. PETERS, M.S. y TIMMERHAUS, K.D. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 4ª Edición. Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 1991. ISBN: 0-07-100871-3

3. MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO. *Precio neto de la electricidad para uso doméstico e industrial.* [En línea] [Consultado el 24 de junio de 2019]. Disponible en: https://www.mincotur.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_12.pdf

4. INFLATION EU. [Sitio web] [Consultado el 24 de junio de 2019]. Disponible en: https://es.inflation.eu/tasas-de-inflacion/espana/inflacion-historica/ipc-inflacion-espana.aspx

5. ECONOMIPEDIA. [Sitio web] [Consultado el 24 de junio de 2019]. Disponible en: https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html

6. ECONOMIPEDIA. [Sitio web] [Consultado el 24 de junio de 2019]. Disponible en: https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html

7. ECONOMIPEDIA. [Sitio web] [Consultado el 24 de junio de 2019]. Disponible en: https://economipedia.com/definiciones/payback.html

ANEXO VIII

FICHAS DE SEGURIDAD

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 453/2010
Versión 5.3 Fecha de revisión 28.12.2015
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto	:	Propano
Referencia	:	536172
Marca	:	Aldrich
No. Indice	:	601-003-00-5
REACH No.	:	Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS	:	74-98-6

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	:	Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	:	Sigma-Aldrich Quimica, S.L. Ronda de Poniente, 3 Aptdo.Correos 278 E-28760 TRES CANTOS -MADRID
Teléfono	:	+34 91 6619977
Fax	:	+34 91 6619642
E-mail de contacto	:	eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia	900-868538 (CHEMTREC España) +(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Gases inflamables (Categoría 1), H220
Gases a presión (Gas licuado), H280

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Pictograma



Palabra de advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia

P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P377	Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P403	Almacenar en un lugar bien ventilado.
P410	Proteger de la luz del sol.

Declaración Suplementaria del Peligro: ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula	:	C_3H_8
Peso molecular	:	44,10 g/mol
No. CAS	:	74-98-6
No. CE	:	200-827-9
No. Indice	:	601-003-00-5

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Si es tragado
No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Óxidos de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Contenidos bajo presión.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componente	No. CAS	ValorForma de exposición	Parámetros de control	Base
Propane	74-98-6	VLA-ED	1.000 ppm	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Sumerción
Material: Caucho fluorado
espesura minima de capa: 0,7 mm
tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
tiempo de penetración: 60 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
Indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respuirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: Gas licuado
b)	Olor	Sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto	Punto/intervalo de fusión: -188 °C - lit.

	de congelación	
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	-42,1 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	-104 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límites superior de explosividad: 9,5 %(V) Límites inferior de explosividad: 2,1 %(V)
k)	Presión de vapor	13.096 hPa a 37,7 °C 8.531,6 hPa a 21,1 °C
l)	Densidad de vapor	1,52 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	Sin datos disponibles
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	Sin datos disponibles
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	1,52 - (Aire = 1.0)

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas. Temperaturas extremas y luz directa del sol.

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
Sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas
Sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Sin datos disponibles

Peligro de aspiración
Sin datos disponibles

Información Adicional
RTECS: TX2275000

Vértigo, Somnolencia, Inconsciencia
Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad
Sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: 1978 IMDG: 1978 IATA: 1978

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: PROPANO
IMDG: PROPANE
IATA: Propane
Passenger Aircraft: Not permitted for transport

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 2.1 IMDG: 2.1 IATA: 2.1

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 453/2010.

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Sin datos disponibles

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16: Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Otros datos
Copyright 2015 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.
La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la

manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 6.1
Fecha de revisión 10.06.2019
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Butano

Referencia : 494402
Marca : Aldrich
No. Indice : 601-004-00-0
REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS : 106-97-8

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Merck Life Science S.L.
Calle Maria de Molina 40
E-28006 MADRID

Teléfono : +34 0034 916 619 977
Fax : +34 0034 916 619 642
E-mail de contacto : serviciotecnico@merckgroup.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Gases inflamables (Categoría 1), H220
Gases a presión (Gas licuado), H280

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Pictograma	
Palabra de advertencia	Peligro

Indicación(es) de peligro

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia

P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P377	Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P403	Almacenar en un lugar bien ventilado.
P410	Proteger de la luz del sol.

Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)
Pictograma	
Palabra de advertencia	Peligro

Indicación(es) de peligro

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia

P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P410 + P403	Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.

Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula	:	C_4H_{10}
Peso molecular	:	58,12 g/mol
No. CAS	:	106-97-8
No. CE	:	203-448-7
No. Indice	:	601-004-00-0

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Por ingestión
No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Óxidos de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar fresco.

Contenidos bajo presión.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componente	No. CAS	Valor	Parámetros de control	Base
Butane	106-97-8	VLA-ED	1.000 ppm	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones del Reglamento (UE) 2016/425 y de la norma EN 374 derivada del mismo.

Sumerción

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Material: Caucho fluorado
espesura minima de capa: 0,7 mm
Tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
Tiempo de penetración: 60 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
Indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadore toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 1438 ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador s Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: gaseoso
b)	Olor	inodoro
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -138 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	-0,5 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	Sin datos disponibles
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad	Límite superior de explosividad: 8,4 %(v)

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

	superior/inferior o límites explosivos	Límites inferior de explosividad: 1,8 %(v)
k)	Presión de vapor	1.820 mmHg a 25 °C 2.667,72 mmHg a 37,7 °C
l)	Densidad de vapor	2,33
m)	Densidad relativa	0,579 g/mL a 20 °C
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 2,89
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	2,33

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas.

10.5 Materiales incompatibles
Sin datos disponibles

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
Sin datos disponibles

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

CL50 Inhalación - Rata - 4 h - 658.000 mg/m3

Corrosión o irritación cutáneas
Sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Sin datos disponibles

Peligro de aspiración
Sin datos disponibles

Información Adicional
RTECS: EJ4200000

Depresión del sistema nervioso central, lentitud, Insuficiencia respiratoria, narcosis, El contacto dérmico con el líquido en evaporación rápida puede provocar la congelación de los tejidos, La exposición puede provocar entumecimiento, sensación de hormigueo y debilidad en las extremidades., Cianosis, Edema pulmonar. Los efectos pueden no ser inmediatos., Dolor abdominal, Náusea, Vómitos

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad
Sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

12.6 Otros efectos adversos
Sin datos disponibles

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada. Los residuos deben eliminarse de acuerdo con la directiva sobre residuos 2008/98/CE así como con otras normativas locales o nacionales. Deje los productos químicos en sus recipientes originales. No los mezcle con otros residuos. Maneje los recipientes sucios como el propio producto.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU
ADR/RID: 1011 IMDG: 1011 IATA: 1011

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas
ADR/RID: BUTANO
IMDG: BUTANE
IATA: Butane
Passenger Aircraft: Not permitted for transport

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte
ADR/RID: 2.1 IMDG: 2.1 IATA: 2.1

14.4 Grupo de embalaje
ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente
ADR/RID: no IMDG Contaminante marino: no IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios
Sin datos disponibles

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla
La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

Autorizaciones y / o restricciones de uso

REACH - Restricciones a la fabricación, comercialización y uso de determinadas sustancias, preparados y artículos peligrosos (Anexo XVII)	:
REACH - Restricciones a la fabricación, comercialización y uso de determinadas sustancias, preparados y artículos peligrosos	: Butane

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

(Anexo XVII)

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Otros datos

Copyright 2018 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con mlsbranding@sial.com

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006
Versión 5.3 Fecha de revisión 13.10.2018
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto	:	2-Methylpropane
Referencia	:	295450
Marca	:	Aldrich
No. Indice	:	601-004-00-0
REACH No.	:	Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS	:	75-28-5

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	:	Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	:	Sigma-Aldrich Quimica, S.L. Ronda de Poniente, 3 Aptdo.Correos 278 E-28760 TRES CANTOS -MADRID
Teléfono	:	+34 91 6619977
Fax	:	+34 91 6619642
E-mail de contacto	:	eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia	900-868538 (CHEMTREC España) +(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Gases inflamables (Categoría 1), H220
Gases a presión (Gas licuado), H280

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Pictograma



Palabra de advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia	
P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P377	Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P403	Almacenar en un lugar bien ventilado.
P410	Proteger de la luz del sol.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Sinónimos	:	Isobutane
Formula	:	C_4H_{10}
Peso molecular	:	58,12 g/mol
No. CAS	:	75-28-5
No. CE	:	200-857-2
No. Indice	:	601-004-00-0

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Por ingestión
No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Sin datos disponibles

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Contenidos bajo presión.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componente	No. CAS	ValorForma de exposición	Parámetros de control	Base
Isobutane	75-28-5	VLA-ED (gas)	1.000 ppm	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Sumerción
Material: Caucho fluorado
espesura minima de capa: 0,7 mm
Tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
Tiempo de penetración: 60 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
Indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadore toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 1438 ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador s Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: Gas licuado
b)	Olor	Sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -160 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	-12 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	-83 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límite superior de explosividad: 8,3 %(V) Límites inferior de explosividad: 1,4 %(V)
k)	Presión de vapor	4.976,5 hPa a 37,7 °C 2.048 hPa a 21 °C
l)	Densidad de vapor	2,01 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	2,064 g/cm3 a 25 °C
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	Sin datos disponibles
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	2,01 - (Aire = 1.0)

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas.

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
Sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas
Sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

Toxicidad para la reproducción
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Sin datos disponibles

Peligro de aspiración
Sin datos disponibles

Información Adicional
RTECS: TZ4300000

narcosis, Dermatitis

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad
Sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: 1969 IMDG: 1969 IATA: 1969

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: ISOBUTANO
IMDG: ISOBUTANE
IATA: Isobutane
Passenger Aircraft: Not permitted for transport

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 2.1 IMDG: 2.1 IATA: 2.1

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

Autorizaciones y / o restricciones de uso

REACH - Restricciones a la fabricación, comercialización y uso de determinadas sustancias, preparados y artículos peligrosos (Anexo XVII) : Isobutane

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Otros datos

Copyright 2016 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.
La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la

manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 6.1
Fecha de revisión 31.01.2019
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Pentano

Referencia : 236705
Marca : Sigma-Aldrich
No. Indice : 601-006-00-1
REACH No. : 01-2119459286-30-XXXX
No. CAS : 109-66-0

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Merck Life Science S.L.
Calle Maria de Molina 40
E-28006 MADRID

Teléfono : +34 0034 916 619 977
Fax : +34 0034 916 619 642
E-mail de contacto : serviciotecnico@merckgroup.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Líquidos inflamables (Categoría 2), H225
Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3), Sistema nervioso central, H336
Peligro de aspiración (Categoría 1), H304
Peligro a largo plazo (crónico) para el medio ambiente acuático (Categoría 2), H411

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro

H225	Líquido y vapores muy inflamables.
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.
H336	Puede provocar somnolencia o vértigo.
H411	Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Declaración(es) de prudencia

P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P273	Evitar su liberación al medio ambiente.
P301 + P310	EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.
P331	NO provocar el vómito.
P370 + P378	En caso de incendio: Utilizar arena seca, producto químico seco o espuma resistente al alcohol para la extinción.
P391	Recoger el vertido.

Información suplementaria sobre riesgos (UE)

EUH066	La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula	:	C_5H_{12}
Peso molecular	:	72,15 g/mol
No. CAS	:	109-66-0
No. CE	:	203-692-4
No. Indice	:	601-006-00-1

Componente	Clasificación	Concentración
n-Pentane		
	Flam. Liq. 2; STOT SE 3; Asp. Tox. 1; Aquatic Chronic 2; H225, H336, H304, H411 Límites de concentración: 20 %: STOT SE 3, H336;	<= 100 %

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Por ingestión
No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Polvo seco Arena seca

Medios de extinción no apropiados
No usar chorro de agua.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores. Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Contener el derrame y recogerlo con material absorbente que no sea combustible (p. ej. arena, tierra, tierra de diatomeas, vermiculita) y depositarlo en un recipiente para su eliminación de acuerdo con la legislación local y nacional (ver sección 13).

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas. Almacenar en un lugar fresco.

Refrigerar antes de abrir.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componente	No. CAS	Valor	Parámetros de control	Base
n-Pentane	109-66-0	TWA	1.000 ppm 3.000 mg/m3	Valores límite de exposición profesional indicativos
	Observaciones	Indicativo		
		VLA-ED	1.000 ppm 3.000 mg/m3	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional
		Agente químico para el que la UE estableció en su día un valor límite indicativo. Todos estos agentes químicos figuran al menos en una de las directivas de valores límite indicativos publicadas hasta ahora (véase Anexo C. Bibliografía). Los Estados miembros deberán establecer un valor límite en sus respectivas legislaciones, en el plazo indicado en dichas directivas. Una vez adoptados, estos valores tienen la misma validez que el resto de los valores adoptados por el país.		

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones del Reglamento (UE) 2016/425 y de la norma EN 374 derivada del mismo.

Sumerción
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
Tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
Tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
Traje de protección completo contra productos químicos, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadore toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 1438 ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador s Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: líquido, claro Color: incoloro
b)	Olor	Sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -130 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	35 - 36 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	-49,0 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límite superior de explosividad: 8,3 %(v) Límites inferior de explosividad: 1,4 %(v)
k)	Presión de vapor	434,3 mmHg a 20,0 °C 1.394,9 mmHg a 55,0 °C
l)	Densidad de vapor	Sin datos disponibles
m)	Densidad relativa	0,626 gcm3 a 25 °C
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 3,39
p)	Temperatura de auto-inflamación	260,0 °C
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	No explosivo
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Sin datos disponibles

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas.

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
DL50 Oral - Ratón - 5.000 mg/kg
CL50 Inhalación - Rata - 4 h - 364.000 mg/m3
DL50 Cutáneo - Conejo - 3.000 mg/kg

Corrosión o irritación cutáneas
Piel - Conejo
Resultado: No irrita la piel
(Directrices de ensayo 404 del OECD)

Lesiones o irritación ocular graves
Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
Prueba de Ames
S.typhimurium
Resultado: negativo

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
Puede provocar somnolencia o vértigo.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Sin datos disponibles

Peligro de aspiración
Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

Información Adicional
RTECS: RZ9450000

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

El contacto con los ojos puede causar:, Rojez, Visión borrosa, Provoca lágrimas., En contacto prolongado o repetido con la piel, puede provocar:, pérdida de lípidos, Dermatitis, Depresión del sistema nervioso central, Lesiones pulmonares
Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

Estómago - Irregularidades - Con base en la evidencia humana

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos	CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 9,74 mg/l - 48 h

12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad	Biótico/aerobio - Tiempo de exposición 192 h Resultado: 70 % - Fácilmente biodegradable.

12.3 Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
Evitar su liberación al medio ambiente. No tirar los residuos por el desagüe.

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada. Los residuos deben eliminarse de acuerdo con la directiva sobre residuos 2008/98/CE así como con otras normativas locales o nacionales. Deje los productos químicos en sus recipientes originales. No los mezcle con otros residuos. Maneje los recipientes sucios como el propio producto.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: 1265 IMDG: 1265 IATA: 1265

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: PENTANOS

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

IMDG: PENTANES
IATA: Pentanes

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 3 IMDG: 3 IATA: 3

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: I IMDG: I IATA: I

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: si IMDG Contaminante marino: si IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

EUH066	La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.
H225	Líquido y vapores muy inflamables.
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.
H336	Puede provocar somnolencia o vértigo.
H411	Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Otros datos

Copyright 2018 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.
La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.
La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con mlsbranding@sial.com

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006
Versión 5.0 Fecha de revisión 05.12.2012
Fecha de impresión 17.06.2019

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : 1-Butene

Referencia : 295051
Marca : Aldrich
No. Indice : 601-012-00-4
No. CAS : 106-98-9

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.
Ronda de Poniente, 3
Aptdo.Correos 278
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977
Fax : +34 91 6619642
E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]
Gases inflamables (Categoría 1)
Gases a presión (Gas licuado)

Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE
Extremadamente inflamable.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]
Pictograma



Palabra de advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro
H220: Gas extremadamente inflamable.
H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia
P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. - No fumar.
P410 + P403: Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.

Declaración Suplementaria del Peligro: ninguno(a)

De acuerdo con la Directiva Europea 67/548/CEE, y sus enmiendas.
Símbolo(s) de peligrosidad



Frase(s) - R

R12	Extremadamente inflamable.

Frase(s) - S

S 9	Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado.
S16	Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.
S33	Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.

2.3 Otros Peligros - ninguno(a)

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

3.1 Sustancias

Formula	:	C_4H_8
Peso molecular	:	56,11 g/mol

4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Si es tragado
No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
Vértigo, Dolor de cabeza, Depresión del sistema nervioso central

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
sin datos disponibles

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Óxidos de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

6.4 Referencia a otras secciones

Para eliminación de desechos ver sección 13.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Contenidos bajo presión.

7.3 Usos específicos finales

sin datos disponibles

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Protección Corporal
indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respuirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprovados bajo los estandards guvernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: gaseoso
b)	Olor	sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	sin datos disponibles
d)	pH	sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -185 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	-6,3 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	-80 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límites superior de explosividad: 9,3 %(V) Límites inferior de explosividad: 1,6 %(V)
k)	Presión de vapor	4.346 hPa a 37,7 °C 2.585 hPa a 21,1 °C
l)	Densidad de vapor	1,94 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	0,595 g/cm3
n)	Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
p)	Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r)	Viscosidad	sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad
sin datos disponibles

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1 Reactividad
sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
sin datos disponibles

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas. Temperaturas extremas y luz directa del sol.

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes, Ácidos fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas
sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
sin datos disponibles

Peligro de aspiración
sin datos disponibles

Efectos potenciales sobre la salud

Inhalación	Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.
Ingestión	Puede ser nocivo en casa de ingestión.
Piel	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.
Ojos	Puede provocar una irritación en los ojos.

Signos y Síntomas de la Exposición
Vértigo, Dolor de cabeza, Depresión del sistema nervioso central

Información Adicional
RTECS: sin datos disponibles

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1 Toxicidad
sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
sin datos disponibles

12.6 Otros efectos adversos
sin datos disponibles

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

14.1 Número ONU

ADR/RID: 1012	IMDG: 1012	IATA: 1012

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas
ADR/RID: 1-BUTILENO
IMDG: BUTYLENE
IATA: Butylene
Passenger Aircraft: Not permitted for transport

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 2.1	IMDG: 2.1	IATA: 2.1

14.4 Grupo embalaje

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no	IMDG Marine Pollutant: no	IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios
sin datos disponibles

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla
sin datos disponibles

15.2 Evaluación de la seguridad química
sin datos disponibles

16. OTRA INFORMACIÓN

Otros datos
Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.
La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la

manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006
Versión 5.3 Fecha de revisión 28.09.2017
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : 2-Metilpropeno

Referencia : 295469
Marca : Aldrich
No. Indice : 601-012-00-4
REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS : 115-11-7

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.
Ronda de Poniente, 3
Aptdo.Correos 278
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977
Fax : +34 91 6619642
E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Gases inflamables (Categoría 1), H220
Gases a presión (Gas licuado), H280

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro
H220 Gas extremadamente inflamable.
H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia	
P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P377	Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P381	Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo.
P410 + P403	Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Sinónimos	:	Isobutylene
Formula	:	C_4H_8
Peso molecular	:	56,11 g/mol
No. CAS	:	115-11-7
No. CE	:	204-066-3
No. Indice	:	601-012-00-4

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Por ingestión
No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Sin datos disponibles

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.
Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Sumerción
Material: Caucho fluorado
espesura minima de capa: 0,7 mm
tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
tiempo de penetración: 60 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
Indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadore toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 1438 ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador s Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: Gas licuado
b)	Olor	desagradable
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -140 °C
f)	Punto inicial de	-6,9 °C - lit.

	ebullición e intervalo de ebullición	
g)	Punto de inflamación	-80 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límite superior de explosividad: 9,6 %(V) Límites inferior de explosividad: 1,8 %(V)
k)	Presión de vapor	4.370 hPa a 37,7 °C
l)	Densidad de vapor	2,25
m)	Densidad relativa	Sin datos disponibles
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 2,34
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	2,25

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas.

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes, Ácidos fuertes, Halógenos

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
CL50 Inhalación - Rata - 4 h - 620.000 mg/m3

Corrosión o irritación cutáneas
Sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Sin datos disponibles

Peligro de aspiración
Sin datos disponibles

Información Adicional
RTECS: UD0890000

actúa como simple asfixiante por desplazamiento de aire, Vértigo, Desorientación, Dolor de cabeza, excitación, Depresión del sistema nervioso central, Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad
Sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: 1055	IMDG: 1055	IATA: 1055

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: ISOBUTILENO
IMDG: ISOBUTYLENE
IATA: Isobutylene
Passenger Aircraft: Not permitted for transport

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 2.1	IMDG: 2.1	IATA: 2.1

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no	IMDG Marine pollutant: no	IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios
Sin datos disponibles

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla
La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.2 Evaluación de la seguridad química
Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Otros datos
Copyright 2016 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.
La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006
Versión 5.1 Fecha de revisión 02.02.2015
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto	:	*cis*-2-Butene
Referencia	:	400890
Marca	:	Aldrich
No. Indice	:	601-012-00-4
REACH No.	:	Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS	:	590-18-1

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	:	Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	:	Sigma-Aldrich Quimica, S.L. Ronda de Poniente, 3 Aptdo.Correos 278 E-28760 TRES CANTOS -MADRID
Teléfono	:	+34 91 6619977
Fax	:	+34 91 6619642
E-mail de contacto	:	eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia	:	900-868538 (CHEMTREC España) +(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Gases inflamables (Categoría 1), H220
Gases a presión (Gas licuado), H280

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE
F+ Extremadamente inflamable R12

El texto completo de las frases R mencionadas en esta Sección, se indica en la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Pictograma



Palabra de advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia	
P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P377	Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P381	Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo.
P410 + P403	Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula	:	C_4H_8
Peso molecular	:	56,11 g/mol
No. CAS	:	590-18-1
No. CE	:	209-673-7
No. Indice	:	601-012-00-4

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

Para el texto completo de las frases de Riesgo y Seguridad mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Si es tragado
No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Óxidos de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Contenidos bajo presión.
Clase alemán de almacenamiento (TRGS 510): Gases

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Sumerción
Material: Caucho fluorado
espesura minima de capa: 0,7 mm
tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
tiempo de penetración: 60 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respuirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: Gas licuado Color: incoloro
b)	Olor	Sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -139 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	3,7 °C - lit.

g)	Punto de inflamación	-11,99 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límites superior de explosividad: 9,7 %(V) Límites inferior de explosividad: 1,7 %(V)
k)	Presión de vapor	1.885 hPa a 21 °C 3.138 hPa a 37,7 °C
l)	Densidad de vapor	1,94 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	0,621 g/cm3
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	Sin datos disponibles
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	1,94 - (Aire = 1.0)

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas.

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
Sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas
Sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Sin datos disponibles

Peligro de aspiración
Sin datos disponibles

Información Adicional
RTECS: sin datos disponibles

actúa como simple asfixiante por desplazamiento de aire, Vértigo, Desorientación, Dolor de cabeza, excitación, Depresión del sistema nervioso central, Puede ser nocivo., Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad
Sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: 1012 IMDG: 1012 IATA: 1012

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: BUTILENO
IMDG: BUTYLENE
IATA: Butylene
Passenger Aircraft: Not permitted for transport

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 2.1 IMDG: 2.1 IATA: 2.1

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Sin datos disponibles

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16: Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

El texto completo de las frases-R referidas en los puntos 2 y 3

R12	Extremadamente inflamable.

Otros datos

Copyright 2015 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.
La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006
Versión 5.1 Fecha de revisión 24.02.2016
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto	:	trans-2-Buteno
Referencia	:	295086
Marca	:	Aldrich
No. Indice	:	601-012-00-4
REACH No.	:	Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS	:	624-64-6

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	:	Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	:	Sigma-Aldrich Quimica, S.L. Ronda de Poniente, 3 Aptdo.Correos 278 E-28760 TRES CANTOS -MADRID
Teléfono	:	+34 91 6619977
Fax	:	+34 91 6619642
E-mail de contacto	:	eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia	900-868538 (CHEMTREC España) +(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Gases inflamables (Categoría 1), H220
Gases a presión (Gas licuado), H280

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Pictograma



Palabra de advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Declaración(es) de prudencia	
P210	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P410 + P403	Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula	:	C_4H_8
Peso molecular	:	56,11 g/mol
No. CAS	:	624-64-6
No. CE	:	210-855-3
No. Indice	:	601-012-00-4

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Por ingestión
No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Sin datos disponibles

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Recoger inmediatamente barriendo o con aspiradora.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Contenidos bajo presión.
Clase de almacenamiento (TRGS 510): Gases

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto

de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Sumerción
Material: Caucho fluorado
espesura minima de capa: 0,7 mm
tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
tiempo de penetración: 60 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
Indumentaria impermeable, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respuirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo AXBEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingenieria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: Gas licuado
b)	Olor	Sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -105 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	1 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	-19,99 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido,	Sin datos disponibles

gas)

j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límite superior de explosividad: 9,7 %(V) Límites inferior de explosividad: 1,6 %(V)
k)	Presión de vapor	3.433 hPa a 37,7 °C
l)	Densidad de vapor	1,94 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	0,604 g/cm3
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	Sin datos disponibles
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	1,94 - (Aire = 1.0)

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas.

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
Sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas
Sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Sin datos disponibles

Peligro de aspiración
Sin datos disponibles

Información Adicional
RTECS: sin datos disponibles

Puede ser nocivo., actúa como simple asfixiante por desplazamiento de aire, Vértigo, Desorientación, Dolor de cabeza, excitación, Depresión del sistema nervioso central

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad
Sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU
ADR/RID: 1012 IMDG: 1012 IATA: 1012

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: BUTILENO
IMDG: BUTYLENE
IATA: Butylene
Passenger Aircraft: Not permitted for transport

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 2.1 IMDG: 2.1 IATA: 2.1

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Otros datos

Copyright 2016 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.
La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006
Versión 5.1 Fecha de revisión 01.10.2013
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto	:	2-Methyl-1-heptene
Referencia	:	111058
Marca	:	Aldrich
REACH No.	:	Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS	:	15870-10-7

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	:	Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	:	Sigma-Aldrich Quimica, S.L. Ronda de Poniente, 3 Aptdo.Correos 278 E-28760 TRES CANTOS -MADRID
Teléfono	:	+34 91 6619977
Fax	:	+34 91 6619642
E-mail de contacto	:	eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia	:	900-868538 (CHEMTREC España) +(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Líquidos inflamables (Categoría 2), H225
Peligro de aspiración (Categoría 1), H304

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE

F, Xn	Fácilmente inflamable, Nocivo	R11, R65

El texto completo de las frases R mencionadas en esta Sección, se indica en la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Pictograma



Palabra de advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro

H225	Líquido y vapores muy inflamables.
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

Declaración(es) de prudencia

P210	Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. - No fumar.
P301 + P310	EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
P331	NO provocar el vómito.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

2.3 Otros Peligros - ninguno(a)

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula	:	C_8H_{16}
Peso molecular	:	112,21 g/mol
No. CAS	:	15870-10-7
No. CE	:	239-993-2

Ingredientes peligrosos de acuerdo con el Reglamento (CE) Nº 1272/2008

Componente		Clasificación	Concentración
2-Methylhept-1-ene			
No. CAS No. CE	15870-10-7 239-993-2	Flam. Liq. 2; Asp. Tox. 1; H225, H304	<= 100 %

Ingrediente peligroso según la Directiva 1999/45/CE

Componente		Clasificación	Concentración
2-Methylhept-1-ene			
No. CAS No. CE	15870-10-7 239-993-2	F, Xn, R11 - R65	<= 100 %

Para el texto completo de las frases de Riesgo y Seguridad mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Si es tragado
No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
sin datos disponibles

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
En caso de fuegos incipientes, usar medios como espuma de "alchohol", polvo seco o dióxido de carbono. Para incendios, aplicar desde una larga distancia, abundante agua agua pulverizada o spray. Enfriar todos los contenedores afectados con abundante agua.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Óxidos de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillandolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección 13).

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Protección Corporal
Traje de protección completo contra productos químicos, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respuirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingieneria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: claro, líquido Color: incoloro
b)	Olor	sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	sin datos disponibles
d)	pH	sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	sin datos disponibles
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	117 - 120 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	10 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límites inferior de explosividad: 0,9 %(V)
k)	Presión de vapor	51 hPa a 37,7 °C
l)	Densidad de vapor	sin datos disponibles
m)	Densidad relativa	0,713 g/cm3 a 25 °C
n)	Solubilidad en agua	sin datos disponibles

o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
p)	Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r)	Viscosidad	sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad
sin datos disponibles

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas. Temperaturas extremas y luz directa del sol.

10.5 Materiales incompatibles
Oxidantes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas
sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
sin datos disponibles

Peligro de aspiración
La sustancia o mezcla se sabe que causa peligro de toxicidad por aspiración para el ser humano o ha de ser considerada como si causara riesgo de toxicidad por aspiración al ser humano.

Información Adicional
RTECS: sin datos disponibles

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad
sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
La valoración de PBT / mPmB no está disponible ya que la evaluación de la seguridad química no es necesaria / no se ha realizado

12.6 Otros efectos adversos

sin datos disponibles

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, dirigirse a un servicio profesional autorizado.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: 3295	IMDG: 3295	IATA: 3295

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID:	HIDROCARBUROS LÍQUIDOS, N.E.P.
IMDG:	HYDROCARBONS, LIQUID, N.O.S.
IATA:	Hydrocarbons, liquid, n.o.s.

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 3	IMDG: 3	IATA: 3

14.4 Grupo embalaje

ADR/RID: II	IMDG: II	IATA: II

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no	IMDG Marine pollutant: no	IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios
sin datos disponibles

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

sin datos disponibles

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16: Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

Asp. Tox.	Peligro de aspiración
Flam. Liq.	Líquidos inflamables
H225	Líquido y vapores muy inflamables.
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

El texto completo de las frases-R referidas en los puntos 2 y 3

F	Fácilmente inflamable
Xn	Nocivo
R11	Fácilmente inflamable.
R65	Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.

Otros datos

Copyright 2013 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006
Versión 5.2 Fecha de revisión 07.04.2014
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : 1-Dodecene

Referencia : 44148
Marca : Aldrich
REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS : 112-41-4

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.
Ronda de Poniente, 3
Aptdo.Correos 278
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977
Fax : +34 91 6619642
E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Peligro de aspiración (Categoría 1), H304

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE
Xn Nocivo R65, R66

El texto completo de las frases R mencionadas en esta Sección, se indica en la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro
H304 Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

Declaración(es) de prudencia
P301 + P310 EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE

INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.

P331 NO provocar el vómito.

Información suplementaria sobre riesgos (UE)

EUH066 La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.

2.3 Otros Peligros - ninguno(a)

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula : $C_{12}H_{24}$

Peso molecular : 168,32 g/mol

No. CAS : 112-41-4

No. CE : 203-968-4

Ingredientes peligrosos de acuerdo con el Reglamento (CE) Nº 1272/2008

Componente		Clasificación	Concentración
Dodec-1-ene			
No. CAS No. CE	112-41-4 203-968-4	Asp. Tox. 1; H304, EUH066	<= 100 %

Ingrediente peligroso según la Directiva 1999/45/CE

Componente		Clasificación	Concentración
Dodec-1-ene			
No. CAS No. CE	112-41-4 203-968-4	Xn, R65 - R66	<= 100 %

Para el texto completo de las frases de Riesgo y Seguridad mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales
Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Si es tragado
No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
sin datos disponibles

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Óxidos de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando asi concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillandolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección 13). Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina.
Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas elctrostáticas.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.
Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Sumerción
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
Tiempo de perforación: 480 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,2 mm
Tiempo de perforación: 30 min
Material probado:Dermatril® P (KCL 743 / Aldrich Z677388, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
Traje de protección completo contra productos químicos, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respuirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingieneria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: claro, líquido Color: incoloro
b)	Olor	sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	sin datos disponibles
d)	pH	sin datos disponibles

e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -35 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	214 - 216 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	73 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límites superior de explosividad: 4,7 %(V) Límites inferior de explosividad: 0,4 %(V)
k)	Presión de vapor	0,3 hPa a 20 °C
l)	Densidad de vapor	5,81 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	sin datos disponibles
n)	Solubilidad en agua	insoluble
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 6,227
p)	Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r)	Viscosidad	1,78 mm2/s a 20 °C -
s)	Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	5,81 - (Aire = 1.0)

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calor, llamas y chispas.

10.5 Materiales incompatibles
Bases, Oxidantes, Agentes reductores

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas
Piel - conejo
Resultado: No irrita la piel
(OECD TG 404)

Lesiones o irritación ocular graves
sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Buehler Test - conejillo de indias
No produce sensibilización en animales de laboratorio.
(OECD TG 406)

Mutagenicidad en células germinales
ensayo in vitro
S.typhimurium
Resultado: negativo

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción

sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
sin datos disponibles

Peligro de aspiración
sin datos disponibles

Información Adicional
RTECS: sin datos disponibles

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad
sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
La valoración de PBT / mPmB no está disponible ya que la evaluación de la seguridad química no es necesaria / no se ha realizado

12.6 Otros efectos adversos

sin datos disponibles

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Este producto combustible puede quemarse en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: Mercancía no peligrosa
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.4 Grupo embalaje

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

sin datos disponibles

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

sin datos disponibles

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16: Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

Asp. Tox.	Peligro de aspiración
EUH066	La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

El texto completo de las frases-R referidas en los puntos 2 y 3

Xn	Nocivo
R65	Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.
R66	La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.

Otros datos

Copyright 2014 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 6.1
Fecha de revisión 17.04.2019
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : 1-Hexadeceno

Referencia : H2131
Marca : Aldrich
REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS : 629-73-2

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Merck Life Science S.L.
Calle Maria de Molina 40
E-28006 MADRID

Teléfono : +34 0034 916 619 977
Fax : +34 0034 916 619 642
E-mail de contacto : serviciotecnico@merckgroup.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

2.2 Elementos de la etiqueta

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Sinónimos	:	Cetene
Formula	:	$C_{16}H_{32}$
Peso molecular	:	224,43 g/mol
No. CAS	:	629-73-2
No. CE	:	211-105-8

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Por ingestión
Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Óxidos de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Procedimiento general de higiene industrial.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones del Reglamento (UE) 2016/425 y de la norma EN 374 derivada del mismo.

Sumerción
Material: Caucho fluorado
espesura minima de capa: 0,7 mm
Tiempo de penetración: 480 min
Material probado:Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

Salpicaduras
Material: Caucho nitrílo
espesura minima de capa: 0,4 mm
Tiempo de penetración: 240 min
Material probado:Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374
Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, pornerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal
Indumentaria impermeable, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
No se requiere protección respiratoria. Para exposiciones molestas use cartuchos de respirador de tipo OV / AG (EE.UU.) o ABEK (UE EN 14387). Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: claro, líquido Color: incoloro
b)	Olor	Sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: 3 - 5 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	274 °C - lit.
g)	Punto de inflamación	132 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Sin datos disponibles
k)	Presión de vapor	Sin datos disponibles
l)	Densidad de vapor	7,75 - (Aire = 1.0)
m)	Densidad relativa	0,783 g/mL a 25 °C
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-	Sin datos disponibles

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

	octanol/agua	
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	7,75 - (Aire = 1.0)

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad
Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química
Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Sin datos disponibles

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
DL50 Oral - Rata - machos y hembras - > 10.000 mg/kg
(Directrices de ensayo 401 del OECD)
CL50 Inhalación - Rata - 4 h - > 5 mg/l
Observaciones: (Ficha de datos de Seguridad externa)

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

DL50 Cutáneo - Conejo - macho - > 10.000 mg/kg
(Directrices de ensayo 402 del OECD)

Corrosión o irritación cutáneas

Lesiones o irritación ocular graves

Sensibilización respiratoria o cutánea

Mutagenicidad en células germinales

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Peligro de aspiración
Peligro de aspiración, Aspiración puede causar edema pulmonar y neumonia.

Información Adicional
RTECS: MM0479000

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad aeróbico - Tiempo de exposición 28 d
Resultado: 71 % - Fácilmente biodegradable.
(Directrices de ensayo 301D del OECD)

12.3 Potencial de bioacumulación

12.4 Movilidad en el suelo

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: Mercancía no peligrosa
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no	IMDG Contaminante marino: no	IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios
Sin datos disponibles

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

Convención Internacional sobre las Armas Químicas (CWC) Programas sobre los Productos Químicos Tóxicos y los Precursores (Louisiana Administrative Code, Title 33,Part V Section 10101 et. seq.)	: No prohibido y/o restringido
Limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos	: No prohibido y/o restringido
Reglamento (CE) n o 649/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos	: No prohibido y/o restringido
Lista de sustancias candidatas que suscitan especial preocupación para su Autorización	: No prohibido y/o restringido

15.2 Evaluación de la seguridad química
Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 16. Otra información

Otros datos

Copyright 2018 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con mlsbranding@sial.com

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 6.1
Fecha de revisión 31.01.2019
Fecha de impresión 17.06.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : 1-Eicosene

Referencia : 184411
Marca : Aldrich
REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS : 3452-07-1

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Merck Life Science S.L.
Calle Maria de Molina 40
E-28006 MADRID

Teléfono : +34 0034 916 619 977
Fax : +34 0034 916 619 642
E-mail de contacto : serviciotecnico@merckgroup.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

2.2 Elementos de la etiqueta

No es una sustancia o mezcla peligrosa.

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula	:	$C_{20}H_{40}$
Peso molecular	:	280,53 g/mol
No. CAS	:	3452-07-1
No. CE	:	222-374-6

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Si es inhalado
Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial.

En caso de contacto con la piel
Eliminar lavando con jabón y mucha agua.

En caso de contacto con los ojos
Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución.

Por ingestión
Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados
Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos
Sin datos disponibles

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas.
Equipo de protección individual, ver sección 8.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
No se requieren precauciones especiales medioambientales.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Limpiar y traspalar. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

6.4 Referencia a otras secciones
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura
Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo.
Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

7.3 Usos específicos finales
Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados
Procedimiento general de higiene industrial.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara
Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel
Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones del Reglamento (UE) 2016/425 y de la norma EN 374 derivada del mismo.

Protección Corporal
Elegir la protección para el cuerpo según sus características, la concentración y la cantidad de sustancias peligrosas, y el lugar específico de trabajo., El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria
Proteccion respiratoria no requerida. Donde la protección sea deseada Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental
No se requieren precauciones especiales medioambientales.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a)	Aspecto	Forma: sólido
b)	Olor	Sin datos disponibles
c)	Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d)	pH	Sin datos disponibles
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: 26 - 30 °C - lit.
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	151 °C a 1,5 mmHg - lit.
g)	Punto de inflamación	> 113,00 °C - copa cerrada
h)	Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Sin datos disponibles
k)	Presión de vapor	Sin datos disponibles
l)	Densidad de vapor	Sin datos disponibles
m)	Densidad relativa	Sin datos disponibles
n)	Solubilidad en agua	Sin datos disponibles
o)	Coeficiente de reparto n-octanol/agua	Sin datos disponibles
p)	Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r)	Viscosidad	Sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Sin datos disponibles

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas
Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse
Sin datos disponibles

10.5 Materiales incompatibles
Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos
Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono
Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles
En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda
Sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas
Sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves
Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea
Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales
Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

Toxicidad para la reproducción
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única
Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Sin datos disponibles

Peligro de aspiración
Sin datos disponibles

Información Adicional
RTECS: sin datos disponibles

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad
Sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad
Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación
Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo
Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB
Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos
Sin datos disponibles

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto
Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañia de vertidos acreditada.

Envases contaminados
Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: Mercancía no peligrosa
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: -	IMDG: -	IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no	IMDG Contaminante marino: no	IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios
Sin datos disponibles

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16. Otra información

Otros datos

Copyright 2018 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con mlsbranding@sial.com

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SAFETY DATA SHEET

Gasoline (All Grades)

HOLLYFRONTIER

Section 1. Identification

Product name : Gasoline (All Grades)

Synonyms : Gasoline, Unleaded Gasoline, Regular Gasoline, Premium Gasoline, Oxyfuel, Reformulated Gasoline

Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Product use : Use as a fuel - Industrial use

Manufacturer : HollyFrontier Refining & Marketing LLC
2828 North Harwood
Suite 1300
Dallas, Texas 75201
USA
Customer Service: (888) 286-8836

Emergency telephone number : CHEMTREC® (800) 424-9300
CCN 201319

Section 2. Hazards identification

OSHA/HCS status : This material is considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200).

Classification of the substance or mixture : FLAMMABLE LIQUIDS - Category 1
SKIN CORROSION/IRRITATION - Category 2
SERIOUS EYE DAMAGE/ EYE IRRITATION - Category 2A
GERM CELL MUTAGENICITY - Category 1B
CARCINOGENICITY - Category 1B
TOXIC TO REPRODUCTION [Fertility] - Category 2
TOXIC TO REPRODUCTION [Unborn child] - Category 2
SPECIFIC TARGET ORGAN TOXICITY (SINGLE EXPOSURE) [Respiratory tract irritation and Narcotic effects] - Category 3
SPECIFIC TARGET ORGAN TOXICITY (REPEATED EXPOSURE) [liver] - Category 2
ASPIRATION HAZARD - Category 1

GHS label elements

Hazard pictograms :



Signal word : Danger

Hazard statements : Extremely flammable liquid and vapor.
Causes serious eye irritation.
Causes skin irritation.
May cause genetic defects.
May cause cancer.
Suspected of damaging fertility or the unborn child.
May be fatal if swallowed and enters airways.
May cause respiratory irritation.
May cause drowsiness and dizziness.
May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure. (liver)

Precautionary statements

Prevention : Obtain special instructions before use. Do not handle until all safety precautions have been read and understood. Use personal protective equipment as required. Wear protective gloves. Wear eye or face protection. Keep away from heat, sparks, open flames and hot surfaces. - No smoking. Use explosion-proof electrical, ventilating, lighting and all material-handling equipment. Use only non-sparking tools. Take precautionary measures against static discharge. Keep container tightly closed. Use only outdoors or in a well-ventilated area. Do not breathe vapor. Do not eat, drink or smoke when using this product. Wash hands thoroughly after handling.

Response : Get medical attention if you feel unwell. IF exposed or concerned: Get medical attention. IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. Call a POISON CENTER or physician if you feel unwell. IF SWALLOWED: Immediately call a POISON CENTER or physician. Do NOT induce vomiting. IF ON SKIN (or hair): Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water or shower. IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water. Take off contaminated clothing. If skin irritation occurs: Get medical attention. IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. If eye irritation persists: Get medical attention.

Storage : Store in a well-ventilated place. Keep cool.

Disposal : Dispose of contents and container in accordance with all local, regional, national and international regulations.

Supplemental label elements : Avoid contact with skin and clothing. Wash thoroughly after handling.

Hazards not otherwise classified : Prolonged or repeated contact may dry skin and cause irritation.

Section 3. Composition/information on ingredients

Substance/mixture : Mixture

CAS number/other identifiers

CAS number : Not applicable.

Product code : Not available.

Ingredient name	%	CAS number
Gasoline	88 - 100	86290-81-5
ethanol	0 - 10	64-17-5
toluene	0 - 10	108-88-3
1,2,4-trimethylbenzene	0 - 5	95-63-6
benzene	0 - 5	71-43-2
n-hexane	0 - 3	110-54-3

Any concentration shown as a range is to protect confidentiality or is due to batch variation.

There are no additional ingredients present which, within the current knowledge of the supplier and in the concentrations applicable, are classified as hazardous to health or the environment and hence require reporting in this section.

Occupational exposure limits, if available, are listed in Section 8.

Section 4. First aid measures

Description of necessary first aid measures

Eye contact : Immediately flush eyes with plenty of water, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Check for and remove any contact lenses. Get medical attention. Continue to rinse for at least 15 minutes.

Inhalation : Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If it is suspected that fumes are still present, the rescuer should wear an appropriate mask or self-contained breathing apparatus. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation. Get medical attention. If necessary, call a poison center or physician. If unconscious, place in recovery position and get medical attention immediately. Maintain an open airway. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.

Skin contact : Wash skin thoroughly with soap and water or use recognized skin cleanser. Remove contaminated clothing and shoes. Continue to rinse for at least 15 minutes. Get medical attention. Wash clothing before reuse. Clean shoes thoroughly before reuse.

Ingestion : Aspiration hazard if swallowed. Can enter lungs and cause damage. Do not induce vomiting. If vomiting occurs, the head should be kept low so that vomit does not enter the lungs. Get medical attention immediately. Call a poison center or physician. Wash out mouth with water. Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If material has been swallowed and the exposed person is conscious, give small quantities of water to drink. Stop if the exposed person feels sick as vomiting may be dangerous. Never give anything by mouth to an unconscious person. If unconscious, place in recovery position and get medical attention immediately. Maintain an open airway. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.

Most important symptoms/effects, acute and delayed

Potential acute health effects

Eye contact : Causes serious eye irritation.

Inhalation : Can cause central nervous system (CNS) depression. May cause drowsiness and dizziness. May cause respiratory irritation.

Skin contact : Causes skin irritation. Defatting to the skin.

Ingestion : Can cause central nervous system (CNS) depression. May be fatal if swallowed and enters airways. Irritating to mouth, throat and stomach.

Over-exposure signs/symptoms

Eye contact : pain or irritation; watering; redness

Inhalation : respiratory tract irritation; coughing; nausea or vomiting; headache; drowsiness/fatigue; dizziness/vertigo; unconsciousness

Skin contact : irritation; redness; dryness; cracking

Ingestion : nausea or vomiting

Indication of immediate medical attention and special treatment needed, if necessary

Notes to physician : Treat symptomatically. Contact poison treatment specialist immediately if large quantities have been ingested or inhaled. Epinephrine and other sympathomimetic drugs may initiate cardiac arrhythmias in persons exposed to high concentrations of hydrocarbon solvents.

Specific treatments : No specific treatment.

Protection of medical responders : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. If it is suspected that fumes are still present, the rescuer should wear an appropriate mask or self-contained breathing apparatus. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation.

See toxicological information (Section 11)

Section 5. Fire-fighting measures

Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Use dry chemical, CO_2, water spray (fog) or foam.

Unsuitable extinguishing media : Do not use water jet.

Specific hazards arising from the chemical : Extremely flammable liquid and vapor. In a fire or if heated, a pressure increase will occur and the container may burst, with the risk of a subsequent explosion. The vapor/gas is heavier than air and will spread along the ground. Vapors may accumulate in low or confined areas or travel a considerable distance to a source of ignition and flash back. Runoff to sewer may create fire or explosion hazard.

Hazardous thermal decomposition products : Decomposition products may include the following materials:
carbon dioxide
carbon monoxide

Special protective actions for fire-fighters : Promptly isolate the scene by removing all persons from the vicinity of the incident if there is a fire. No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Move containers from fire area if this can be done without risk. Use water spray to keep fire-exposed containers cool.

Special protective equipment for fire-fighters : Fire-fighters should wear appropriate protective equipment and self-contained breathing apparatus (SCBA) with a full face-piece operated in positive pressure mode.

Section 6. Accidental release measures

Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

For non-emergency personnel : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Evacuate surrounding areas. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Do not touch or walk through spilled material. Shut off all ignition sources. No flares, smoking or flames in hazard area. Avoid breathing vapor or mist. Provide adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Put on appropriate personal protective equipment.

For emergency responders : If specialised clothing is required to deal with the spillage, take note of any information in Section 8 on suitable and unsuitable materials. See also the information in "For non-emergency personnel".

Environmental precautions : Avoid dispersal of spilled material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers. Inform the relevant authorities if the product has caused environmental pollution (sewers, waterways, soil or air).

Methods and materials for containment and cleaning up

Small spill : Stop leak if without risk. Move containers from spill area. Use spark-proof tools and explosion-proof equipment. Absorb with an inert material and place in an appropriate waste disposal container. Dispose of via a licensed waste disposal contractor.

Large spill : Stop leak if without risk. Move containers from spill area. Use spark-proof tools and explosion-proof equipment. Approach release from upwind. Prevent entry into sewers, waterways, basements or confined areas. Wash spillages into an effluent treatment plant or proceed as follows. Contain and collect spillage with non-combustible, absorbent material e.g. sand, earth, vermiculite or diatomaceous earth and place in container for disposal according to local regulations (see Section 13). Dispose of via a licensed waste disposal contractor. Contaminated absorbent material may pose the same hazard as the spilled product. Note: see Section 1 for emergency contact information and Section 13 for waste disposal.

Section 7. Handling and storage

Precautions for safe handling

Protective measures : Put on appropriate personal protective equipment (see Section 8). Avoid exposure - obtain special instructions before use. Do not handle until all safety precautions have been read and understood. Do not get in eyes or on skin or clothing. Do not breathe vapor or mist. Do not swallow. Use only with adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Do not enter storage areas and confined spaces unless adequately ventilated. Keep in the original container or an approved alternative made from a compatible material, kept tightly closed when not in use. Store and use away from heat, sparks, open flame or any other ignition source. Use explosion-proof electrical (ventilating, lighting and material handling) equipment. Use only non-sparking tools. Take precautionary measures against electrostatic discharges. Empty containers retain product residue and can be hazardous. Do not reuse container. High pressure skin injections are serious medical emergencies. Injury will not appear serious at first. Within a few hours, tissue will become swollen, discolored and extremely painful.

Advice on general occupational hygiene : Eating, drinking and smoking should be prohibited in areas where this material is handled, stored and processed. Workers should wash hands and face before eating, drinking and smoking. Remove contaminated clothing and protective equipment before entering eating areas. See also Section 8 for additional information on hygiene measures.

Conditions for safe storage, including any incompatibilities : Store in accordance with local regulations. Store in a segregated and approved area. Store in original container protected from direct sunlight in a dry, cool and well-ventilated area, away from incompatible materials (see Section 10) and food and drink. Eliminate all ignition sources. Separate from oxidizing materials. Keep container tightly closed and sealed until ready for use. Containers that have been opened must be carefully resealed and kept upright to prevent leakage. Do not store in unlabeled containers. Use appropriate containment to avoid environmental contamination.

Section 8. Exposure controls/personal protection

Control parameters

Occupational exposure limits

Ingredient name	Exposure limits		
Gasoline	-	**ACGIH TLV (United States, 3/2012).** TWA: 300 ppm 8 hours. TWA: 890 mg/m³ 8 hours. STEL: 500 ppm 15 minutes. STEL: 1480 mg/m³ 15 minutes.	
ethanol	**OSHA PEL 1989 (United States, 3/1989).** TWA: 1000 ppm 8 hours. TWA: 1900 mg/m³ 8 hours. **OSHA PEL (United States, 6/2010).** TWA: 1000 ppm 8 hours. TWA: 1900 mg/m³ 8 hours.	**ACGIH TLV (United States, 3/2012).** STEL: 1000 ppm 15 minutes.	**NIOSH REL (United States, 1/2013).** TWA: 1000 ppm 10 hours. TWA: 1900 mg/m³ 10 hours.
toluene	**OSHA PEL 1989 (United States, 3/1989).** TWA: 100 ppm 8 hours. TWA: 375 mg/m³ 8 hours. STEL: 150 ppm 15 minutes. STEL: 560 mg/m³ 15 minutes. **OSHA PEL Z2 (United States, 11/2006).** TWA: 200 ppm 8 hours. CEIL: 300 ppm AMP: 500 ppm 10 minutes.	**ACGIH TLV (United States, 3/2012).** TWA: 20 ppm 8 hours.	**NIOSH REL (United States, 1/2013).** TWA: 100 ppm 10 hours. TWA: 375 mg/m³ 10 hours. STEL: 150 ppm 15 minutes. STEL: 560 mg/m³ 15 minutes.
1,2,4-trimethylbenzene	**OSHA PEL 1989 (United States, 3/1989).** TWA: 25 ppm 8 hours. TWA: 125 mg/m³ 8 hours.	**ACGIH TLV (United States, 3/2012).** TWA: 25 ppm 8 hours. TWA: 123 mg/m³ 8 hours.	**NIOSH REL (United States, 1/2013).** TWA: 25 ppm 10 hours. TWA: 125 mg/m³ 10 hours.
benzene	**OSHA PEL 1989 (United States, 3/1989).** TWA: 1 ppm 8 hours. STEL: 5 ppm 15 minutes. **OSHA PEL Z2 (United States, 11/2006).** TWA: 10 ppm 8 hours. CEIL: 25 ppm AMP: 50 ppm 10 minutes. **OSHA PEL (United States, 6/2010).** TWA: 1 ppm 8 hours. STEL: 5 ppm 15 minutes.	**ACGIH TLV (United States, 3/2012). Absorbed through skin.** TWA: 0.5 ppm 8 hours. TWA: 1.6 mg/m³ 8 hours. STEL: 2.5 ppm 15 minutes. STEL: 8 mg/m³ 15 minutes.	**NIOSH REL (United States, 1/2013).** TWA: 0.1 ppm 10 hours. STEL: 1 ppm 15 minutes.
n-hexane	**OSHA PEL 1989 (United States, 3/1989).** TWA: 50 ppm 8 hours. TWA: 180 mg/m³ 8 hours. **OSHA PEL (United States, 6/2010).** TWA: 500 ppm 8 hours. TWA: 1800 mg/m³ 8 hours.	**ACGIH TLV (United States, 3/2012). Absorbed through skin.** TWA: 50 ppm 8 hours.	**NIOSH REL (United States, 1/2013).** TWA: 50 ppm 10 hours. TWA: 180 mg/m³ 10 hours.

Appropriate engineering controls : Use only with adequate ventilation. Use process enclosures, local exhaust ventilation or other engineering controls to keep worker exposure to airborne contaminants below any recommended or statutory limits. The engineering controls also need to keep gas, vapor or dust concentrations below any lower explosive limits. Use explosion-proof ventilation equipment.

Environmental exposure controls : Emissions from ventilation or work process equipment should be checked to ensure they comply with the requirements of environmental protection legislation. In some cases, fume scrubbers, filters or engineering modifications to the process equipment will be necessary to reduce emissions to acceptable levels.

Individual protection measures

Hygiene measures : Wash hands, forearms and face thoroughly after handling chemical products, before eating, smoking and using the lavatory and at the end of the working period. Appropriate techniques should be used to remove potentially contaminated clothing. Wash contaminated clothing before reusing. Ensure that eyewash stations and safety showers are close to the workstation location.

Eye/face protection : Safety eyewear complying with an approved standard should be used when a risk assessment indicates this is necessary to avoid exposure to liquid splashes, mists, gases or dusts. If contact is possible, the following protection should be worn, unless the assessment indicates a higher degree of protection: chemical splash goggles.

Skin protection

Hand protection : Chemical-resistant, impervious gloves complying with an approved standard should be worn at all times when handling chemical products if a risk assessment indicates this is necessary. Considering the parameters specified by the glove manufacturer, check during use that the gloves are still retaining their protective properties. It should be noted that the time to breakthrough for any glove material may be different for different glove manufacturers. In the case of mixtures, consisting of several substances, the protection time of the gloves cannot be accurately estimated.

Body protection : Personal protective equipment for the body should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product. When there is a risk of ignition from static electricity, wear anti-static protective clothing. For the greatest protection from static discharges, clothing should include anti-static overalls, boots and gloves.

Other skin protection : Appropriate footwear and any additional skin protection measures should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.

Respiratory protection : Use a properly fitted, air-purifying or air-fed respirator complying with an approved standard if a risk assessment indicates this is necessary. Respirator selection must be based on known or anticipated exposure levels, the hazards of the product and the safe working limits of the selected respirator.

Section 9. Physical and chemical properties

Appearance

Physical state : Liquid.

Color : Clear to Amber

Odor : Gasoline

Odor threshold : Not available.

pH : Not available.

Melting point : Not available.

Boiling point : 26.667 to 226.67°C (80 to 440°F)

Flash point : -40°C (-40°F)

Evaporation rate : Not available.

Flammability (solid, gas) : Not available.

Lower and upper explosive (flammable) limits : Lower: 1.4%
Upper: 7.6%

Vapor pressure : 350-760 mm Hg at 37.8°C (100°F)

Vapor density : 3 to 4 [Air = 1]

Specific gravity : 0.75 [15.5°C (60°F)]

Solubility : Negligible

Partition coefficient: n-octanol/water : Not available.

Auto-ignition temperature : >260°C (>500°F)

Decomposition temperature : Not available.

Viscosity : Kinematic (40°C (104°F)): 0.0064 cm^2/s (0.64 cSt)

Molecular weight : Not applicable.

Section 10. Stability and reactivity

Reactivity : No specific test data related to reactivity available for this product or its ingredients.

Chemical stability : The product is stable.

Possibility of hazardous reactions : Under normal conditions of storage and use, hazardous reactions will not occur.

Conditions to avoid : Avoid all possible sources of ignition (spark or flame). Do not pressurize, cut, weld, braze, solder, drill, grind or expose containers to heat or sources of ignition. Do not allow vapor to accumulate in low or confined areas.

Incompatible materials : Reactive or incompatible with the following materials:
oxidizing materials

Hazardous decomposition products : Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.

Section 11. Toxicological information

Information on toxicological effects

Acute toxicity

Product/ingredient name	Result	Species	Dose	Exposure
Gasoline	LD50 Oral	Rat	13.6 g/kg	-
ethanol	LC50 Inhalation Vapor	Rat	124700 mg/m³	4 hours
	LD50 Oral	Rat	7 g/kg	-

Irritation/Corrosion

Product/ingredient name	Result	Species	Score	Exposure	Observation
ethanol	Eyes - Moderate irritant	Rabbit	-	0.066666667 minutes 100 milligrams	-
	Eyes - Moderate irritant	Rabbit	-	100 microliters	-
	Eyes - Severe irritant	Rabbit	-	500 milligrams	-
	Skin - Mild irritant	Rabbit	-	400 milligrams	-

Carcinogenicity

Product/ingredient name	OSHA	IARC	NTP
toluene	-	3	-
benzene	+	1	Known to be a human carcinogen.

Teratogenicity

Specific target organ toxicity (single exposure)

Name	Category	Route of exposure	Target organs
Gasoline	Category 3	Not applicable.	Respiratory tract irritation and Narcotic effects
ethanol	Category 3	Not applicable.	Respiratory tract irritation and Narcotic effects

Specific target organ toxicity (repeated exposure)

Name	Category	Route of exposure	Target organs
ethanol	Category 2	Not determined	liver

Aspiration hazard

Name	Result
Gasoline	ASPIRATION HAZARD - Category 1

Information on the likely routes of exposure : Routes of entry anticipated: Oral, Dermal, Inhalation.

Delayed and immediate effects and also chronic effects from short and long term exposure

Short term exposure

Potential immediate effects : Not available.

Potential delayed effects : Not available.

Long term exposure

Potential immediate effects : Not available.

Potential delayed effects : Not available.

Potential chronic health effects

General : Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure. Prolonged or repeated contact can defat the skin and lead to irritation, cracking and/or dermatitis.

Carcinogenicity : May cause cancer. Risk of cancer depends on duration and level of exposure.

Mutagenicity : May cause genetic defects.

Teratogenicity : Suspected of damaging the unborn child.

Developmental effects : reduced fetal weight; skeletal malformations

Fertility effects : Suspected of damaging fertility.

Numerical measures of toxicity

Acute toxicity estimates

Route	ATE value
Oral Inhalation (gases) Inhalation (vapors)	8840.2 mg/kg 123841.8 ppm 720 mg/l

Section 12. Ecological information

Toxicity

Product/ingredient name	Result	Species	Exposure
ethanol	Acute EC50 17.921 mg/l Marine water	Algae - Ulva pertusa	96 hours

Persistence and degradability

Product/ingredient name	Test	Result	Dose	Inoculum
toluene	301C Ready Biodegradability - Modified MITI Test (I)	100 % - 14 days	-	-
benzene	301C Ready Biodegradability - Modified MITI Test (I)	100 % - 14 days	-	-

Product/ingredient name	Aquatic half-life	Photolysis	Biodegradability
ethanol	-	-	Readily

Bioaccumulative potential

Product/ingredient name	$LogP_{ow}$	BCF	Potential
Gasoline	2 to 7	10 to 2500	high
ethanol	-0.35	-	low

Mobility in soil

Soil/water partition coefficient (K_{OC}) : Not available.

Other adverse effects : No known significant effects or critical hazards.

Section 13. Disposal considerations

Disposal methods : The generation of waste should be avoided or minimized wherever possible. Disposal of this product, solutions and any by-products should at all times comply with the requirements of environmental protection and waste disposal legislation and any regional local authority requirements. Dispose of surplus and non-recyclable products via a licensed waste disposal contractor. Waste should not be disposed of untreated to the sewer unless fully compliant with the requirements of all authorities with jurisdiction. Waste packaging should be recycled. Incineration or landfill should only be considered when recycling is not feasible. This material and its container must be disposed of in a safe way. Care should be taken when handling emptied containers that have not been cleaned or rinsed out. Empty containers or liners may retain some product residues. Vapor from product residues may create a highly flammable or explosive atmosphere inside the container. Do not cut, weld or grind used containers unless they have been cleaned thoroughly internally. Avoid dispersal of spilled material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers.

United States - RCRA Toxic hazardous waste "U" List

Ingredient	CAS #	Status	Reference number
Toluene; Benzene, methyl-	108-88-3	Listed	U220
Benzene (I,T)	71-43-2	Listed	U019

Section 14. Transport information

	DOT Classification	TDG Classification	Mexico Classification	ADR/RID	IMDG	IATA
UN number	UN1203	UN1203	UN1203	UN1203	UN1203	UN1203
UN proper shipping name	Gasoline RQ (Benzene, toluene)	GASOLINE	GASOLINA	GASOLINE	GASOLINE	Gasoline

Transport hazard class(es)	3 	3 	3 	3 	3 	3 
Packing group	II	II	II	II	II	II
Environmental hazards	Yes.	Yes.	Yes.	Yes.	No.	No.
Additional information	**Reportable quantity** 400 lbs / 181.6 kg [63.965 gal / 242.13 L] Package sizes shipped in quantities less than the product reportable quantity are not subject to the RQ (reportable quantity) transportation requirements. **Limited quantity** Yes. **Packaging instruction** **Passenger aircraft** Quantity limitation: 5 L **Cargo aircraft** Quantity limitation: 60 L **Special provisions** 144, 177, B1, B33, IB2, T4, TP1	**Explosive Limit and Limited Quantity Index** 30 **Passenger Carrying Ship Index** 100 **Passenger Carrying Road or Rail Index** 5 **Special provisions** 17, 82, 88	**Special provisions** 243	**Hazard identification number** 33 **Limited quantity** 1 L **Special provisions** 534 243 **Tunnel code** (D/E)	**Emergency schedules (EmS)** F-E, S-E	**Passenger and Cargo Aircraft** Quantity limitation: 5 L Packaging instructions: 353 **Cargo Aircraft Only**Quantity limitation: 60 L Packaging instructions: 364 **Limited Quantities - Passenger Aircraft** Quantity limitation: 1 L Packaging instructions: Y341

Special precautions for user : **Transport within user's premises:** always transport in closed containers that are upright and secure. Ensure that persons transporting the product know what to do in the event of an accident or spillage.

Section 15. Regulatory information

U.S. Federal regulations : **United States inventory (TSCA 8b)**: All components are listed or exempted.
Clean Water Act (CWA) 307: toluene; benzene
Clean Water Act (CWA) 311: toluene; benzene

Clean Air Act Section 112 (b) Hazardous Air Pollutants (HAPs) : Listed

DEA List II Chemicals (Essential Chemicals) : Listed

SARA 302/304

Composition/information on ingredients

No products were found.

SARA 304 RQ : Not applicable.

SARA 311/312

Classification : Fire hazard
Immediate (acute) health hazard
Delayed (chronic) health hazard

Composition/information on ingredients

Name	%	Fire hazard	Sudden release of pressure	Reactive	Immediate (acute) health hazard	Delayed (chronic) health hazard
Gasoline	88 - 100	Yes.	No.	No.	Yes.	Yes.
ethanol	0 - 10	Yes.	No.	No.	Yes.	Yes.
toluene	0 - 10	Yes.	No.	No.	Yes.	Yes.
1,2,4-trimethylbenzene	0 - 5	Yes.	No.	No.	Yes.	Yes.
benzene	0 - 5	Yes.	No.	No.	Yes.	Yes.
n-hexane	0 - 3	Yes.	No.	No.	Yes.	Yes.

SARA 313

	Product name	CAS number	%
Form R - Reporting requirements	toluene 1,2,4-trimethylbenzene benzene n-hexane	108-88-3 95-63-6 71-43-2 110-54-3	0 - 10 0 - 5 0 - 5 0 - 3
Supplier notification	toluene 1,2,4-trimethylbenzene benzene n-hexane	108-88-3 95-63-6 71-43-2 110-54-3	0 - 10 0 - 5 0 - 5 0 - 3

SARA 313 notifications must not be detached from the SDS and any copying and redistribution of the SDS shall include copying and redistribution of the notice attached to copies of the SDS subsequently redistributed.

State regulations

Massachusetts : The following components are listed: TOLUENE; PSEUDOCUMENE; BENZENE; HEXANE; ETHYL ALCOHOL

New York : The following components are listed: Toluene; Benzene; Hexane

New Jersey : The following components are listed: TOLUENE; BENZENE, METHYL-; PSEUDOCUMENE; 1,2,4-TRIMETHYL BENZENE; BENZENE; n-HEXANE; HEXANE; ETHYL ALCOHOL; ALCOHOL

Pennsylvania : The following components are listed: GASOLINE; BENZENE, METHYL-; PSEUDOCUMENE; BENZENE; HEXANE; DENATURED ALCOHOL

California Prop. 65

WARNING: This product contains a chemical known to the State of California to cause cancer and birth defects or other reproductive harm.

Ingredient name	Cancer	Reproductive	No significant risk level	Maximum acceptable dosage level
toluene	No.	Yes.	No.	7000 µg/day (ingestion) 13000 µg/day (inhalation)
benzene	Yes.	Yes.	6.4 µg/day (ingestion) 13 µg/day (inhalation)	24 µg/day (ingestion) 49 µg/day (inhalation)

Canada inventory : All components are listed or exempted.

International regulations

International lists : **Australia inventory (AICS)**: All components are listed or exempted.
China inventory (IECSC): Not determined.
Japan inventory: Not determined.
Korea inventory: All components are listed or exempted.
Malaysia Inventory (EHS Register): Not determined.
New Zealand Inventory of Chemicals (NZIoC): All components are listed or exempted.
Philippines inventory (PICCS): All components are listed or exempted.
Taiwan inventory (CSNN): Not determined.

Section 16. Other information

National Fire Protection Association (U.S.A.)



Reprinted with permission from NFPA 704-2001, Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response Copyright ©1997, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. This reprinted material is not the complete and official position of the National Fire Protection Association, on the referenced subject which is represented only by the standard in its entirety.

Copyright ©2001, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. This warning system is intended to be interpreted and applied only by properly trained individuals to identify fire, health and reactivity hazards of chemicals. The user is referred to certain limited number of chemicals with recommended classifications in NFPA 49 and NFPA 325, which would be used as a guideline only. Whether the chemicals are classified by NFPA or not, anyone using the 704 systems to classify chemicals does so at their own risk.

Date of issue/Date of revision : 3/18/2014.

Date of previous issue : 8/28/2013.

Version : 1.01

Key to abbreviations : ATE = Acute Toxicity Estimate
BCF = Bioconcentration Factor
GHS = Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals
IATA = International Air Transport Association
IMDG = International Maritime Dangerous Goods
LogPow = logarithm of the octanol/water partition coefficient
UN = United Nations

Indicates information that has changed from previously issued version.

Notice to reader

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, neither the above-named manufacturer, nor any of its subsidiaries, assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein.
Final determination of suitability of any material is the sole responsibility of the user. All materials may present unknown hazards and should be used with caution. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards that exist.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Conforme al Reglamento CE Nº 1907/2006 - REACH y Reglamento CE Nº 1272/2008 - CLP

GAS LICUADO DE PETRÓLEO

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1 Identificador del producto

Nombre comercial	GAS LICUADO DE PETRÓLEO
Nombre Químico	Mezclas de propanos y butanos
Sinónimos	GLP (Gas Licuado de Petróleo).
Nº CAS	68512-91-4
Nº CE (EINECS)	270-990-9
Nº Índice (Anexo VI Reglamento CE Nº 1272/2008)	649-083-00-0
Nº Registro	NP
Nº Autorización	NP

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Combustible.
Propelente.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Empresa	REFINERÍA LA PAMPILLA, S.A.A.
Dirección	Casilla Postal 10245 Km. 25 Carretera a Ventanilla. Lima-1 PERU
Teléfono	(51-1) 517-2021(51-1) 517-2022
Fax	(51-1) 5172026
Correo electrónico	NP

1.4 Teléfono de emergencia

Carechem 24: +34 9 1114 2520
Carechem 24: +44 (0) 1235 239 670

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla	**2.2 Elementos de la etiqueta**
Clasificación Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	**Etiquetado**

Gases inflamables: Gas infl. 1 Gases a presión: Gas a pres.	**Pictogramas** GHS02 GHS04	
	Palabra de advertencia	Peligro
	Indicaciones de peligro	H220: Gas extremadamente inflamable. H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
	Información suplementaria	NP
	Consejos de prudencia	P102: Mantener fuera del alcance de los niños. P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. P410+P403: Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.

2.3 Elementos suplementarios que deben figurar en las etiquetas

NP

2.4 Requisitos especiales de envasado

Recipientes que deben ir provistos de un cierre de seguridad para niños:

No aplica.

Advertencia de peligro táctil:

No aplica.

2.5 Otros peligros

Los resultados de la valoración PBT y mPmB del producto, de conformidad con los criterios establecidos en el anexo XIII del reglamento REACH, se pueden consultar en la sección 12.5 de esta FDS.

La información relativa a otros peligros, diferentes a los de la clasificación, pero que, pueden contribuir a la peligrosidad general del producto, se puede consultar en las secciones 5, 6 y 7 de esta FDS.

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Combinación compleja de hidrocarburos producida por destilación y condensación del petróleo crudo.
Compuesta de hidrocarburos con un número de carbonos dentro del intervalo de C3 a C5, en su mayor parte de C3 a C4.

Componentes peligrosos Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Concentración (%)	Indicaciones de peligro
Hidrocarburos, ricos en C3-4, destilado del petróleo; Gases de petróleo. (1,3-butadieno < 0.1%) **Nº CAS**: 68512-91-4 **Nº CE (EINECS)**: 270-990-9	>99	H220, H280

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Inhalación: Trasladar al afectado a una zona de aire fresco.
Si la respiración es dificultosa, practicar respiración artificial o aplicar oxígeno.
Solicitar asistencia médica.

Ingestión/aspiración: NP

Contacto con la piel: Las quemaduras por congelación tienen el mismo tratamiento que las quemaduras de origen térmico.
Lavar inmediata, abundante y cuidadosamente con agua.
No frotar las partes afectadas.
Solicitar asistencia médica.

Contacto con los ojos: Las quemaduras por congelación tienen el mismo tratamiento que las quemaduras de origen térmico.
Lavar inmediata, abundante y cuidadosamente con agua.
No frotar las partes afectadas.
Solicitar asistencia médica.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

Inhalación: A altas concentraciones en el aire, posee propiedades narcóticas y asfixiantes debido a la disminución del oxígeno disponible para la respiración.
Puede causar efectos adversos sobre el sistema nervioso central.
Los efectos pueden incluir excitación, dolor de cabeza, mareos, somnolencia, visión borrosa, fatiga, temblores, convulsiones, pérdida de conocimiento y fallo respiratorio.
Concentraciones superiores al 10% pueden causar irregularidades cardíacas.

Ingestión/aspiración: NP

Contacto con la piel: El líquido o el vapor frío pueden producir quemaduras por congelación.

Contacto con los ojos: El líquido o el vapor frío pueden producir quemaduras por congelación.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
Solicitar asistencia médica.

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados: Agua pulverizada, polvo químico seco y CO2. NO UTILIZAR NUNCA CHORRO DE AGUA DIRECTO.

Contraindicaciones: NP

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Productos de combustión: CO2, H2O, CO (en caso de combustión incompleta).

Medidas especiales: Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. No apagar la llama de un escape de gas. Aislar la fuga si es posible y, en caso contrario, dejar quemar controladamente. Dispersar los vapores con agua pulverizada. Consultar y aplicar planes de emergencia en el caso de que existan.

Peligros especiales: Producto extremadamente inflamable. Puede inflamarse por calor, chispas, electricidad estática o llamas. El vapor, más pesado que el aire, puede desplazarse grandes distancias hasta fuentes de ignición. Los recipientes sin válvulas de seguridad pueden explosionar tras exposición a elevadas temperaturas. Los recipientes semivacíos o vacíos, presentan los mismos riesgos que los llenos. Peligro de explosión de vapores en espacios cerrados, exteriores o en conductos. Son especialmente peligrosos los vertidos al alcantarillado.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios:
Guantes y trajes resistentes al calor. Equipo de respiración autónoma en caso de elevadas concentraciones de vapores o humos densos.

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Precauciones personales: Aislar el área.
Evitar la entrada innecesaria de personas dentro de la zona afectada.
No fumar.
Evitar cualquier tipo de fuente de ignición (llama abierta, chispa).
Evitar las cargas electrostáticas.

Protección personal: Equipos de respiración autónoma en presencia de elevadas concentraciones de producto.
Guantes de PVC.
Protección ocular cerrada.
Calzado de seguridad antiestático.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

En caso de vertido, el líquido sufre una intensa evaporación .
No presenta riesgos de contaminación acuática ni terrestre.
Evitar que las fugas alcancen desagües y alcantarillas.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Derrames pequeños: Dejar evaporar.
Derrames grandes: Diluir los vapores con agua pulverizada y proceder como en el caso de fugas pequeñas.

6.4. Referencia a otras secciones

El apartado 8 contiene consejos más detallados sobre los equipos de protección individual y el apartado 13 sobre la eliminación de los residuos.

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Precauciones generales: Evitar el contacto con piel, ojos y ropa.
No respirar los vapores.
Emplear sistemas antideflagrantes para la ventilación de locales cerrados donde se manipule o almacene el producto.
Mantener alejado de posibles fuentes de ignición (llamas, chispas).
No fumar en las áreas de manipulación del producto.
Evitar la acumulación de cargas electrostáticas.
Para el trasvase utilizar equipos conectados a tierra.

Condiciones específicas: En operaciones de llenado y manejo de botellas de gas licuado, se deben emplear guantes, traje y calzado antiestático; es aconsejable, en estas operaciones el empleo de gafas o mascarillas protectoras, para evitar posibles proyecciones.
Equipos de trabajo y herramientas antichispas.

La limpieza y mantenimiento de los recipientes debe ser realizado por personal cualificado bajo las normas de seguridad existentes (asegurarse de que los contenedores están vacíos y exentos de vapores antes de realizar cualquier inspección, la cual será efectuada por personal especializado).
No soldar o cortar cerca de los contenedores.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Temperatura y productos de descomposición: NP

Reacciones peligrosas: Producto extremadamente inflamable y combustible.
El líquido tiene una marcada tendencia a almacenar electricidad estática cuando se transporta por tubería, por lo que es imprescindible en operaciones de carga y descarga dotar tanto a los sistemas de tuberías como a los recipientes de transporte, de tomas a tierra adecuadas.

Condiciones de almacenamiento: Guardar el producto en recipientes cerrados y etiquetados.
Mantener los recipientes en lugar fresco y ventilado, alejados del calor y de fuentes de ignición.
Mantener los recipientes alejados de oxidantes fuertes.
Es recomendable el uso de detectores de gas.

Materiales incompatibles: Sustancias oxidantes.

7.3. Usos específicos finales

Ver apartado 1 ó escenario de exposición

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

Propano (Nº CAS: 74-98-6):
INSHT (España):VLA/ED: 1000 ppm.
ACGIH (USA): TLV/TWA: 1000 ppm.
GKV_MAK (Austria): TWA: 1000 ppm (1800 m g/m³) / STEL: 2000 ppm (3600 mg/m³).
Lijst Grenswaarden / Valeurs Limites.(Bélgica): TWA: 1000 ppm.
Arbejdstilsynet (Dinamarca): TWA : 1000 ppm (1800 mg/m³) / STEL: 2000 ppm (3600 mg/m³).
TRGS900 AGW (Alemania): TWA: 1000 ppm (1800 mg/m³) / STEL: 4000 ppm (7200 mg/m³).
Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej (Polonia): TWA: 1800 mg/m³.
NIOSH (USA): REL-STEL: 1000 ppm (1800 mg/m³).
OSHA (USA): PEL-TWA: 1000 ppm (1800 mg/m³).

Butano (Nº CAS: 106-97-8):
INSHT (España):VLA-ED: 1000 ppm.
ACGIH (USA): TLV/STEL: 1000 ppm.
GKV_MAK (Austria): TWA: 800 ppm (1600 mg/m³) / STEL: 1600 ppm (3800 mg/m³).
Lijst Grenswaarden / Valeurs Limites.(Bélgica): TWA: 800 ppm (1928 mg/m³).

Arbejdstilsynet (Dinamarca): TWA: 500 ppm (1200 mg/m³) / STEL: 1000 ppm (2400 mg/m³). INRS (Francia): TWA: 800 ppm (1900 mg/m³). TRGS900 AGW (Alemania): TWA: 1000 ppm (2400 mg/m³) / STEL: 4000 ppm (9600 mg/m³). EüM-SzCsM (Hungría):TWA: 2350 mg/m³ / STEL: 9400 mg/m³. LV Nat. Sta ndardisation and Meterological Centre (Letonia): TWA: 300 mg/m³. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej (Polonia): TWA: 1900 mg/m³ / STEL: 3000 mg/m³. NIOSH (USA): REL-STEL: 800 ppm (1900 mg/m³). EH40/2005 WELs (Reino Unido): OEL-TWA: 600 ppm (1450 m g/m³) / OEL-STEL: 750 ppm (1810 mg/m³).

DNEL NP

PNEC NP

8.2 Controles de la exposición

Evitar el contacto con el producto licuado y la inhalación del gas. Las ropas contaminadas de gas licuado deben ser mojadas rápidamente para evitar las irritaciones y el riesgo de inflamación, y ser retiradas si no están adheridas a la piel.

Equipos de protección personal

Protección respiratoria: Máscara de protección respiratoria en presencia de vapores o equipo autónomo en altas concentraciones.

Protección cutánea: Guantes de PVC. Calzado de seguridad antiestático resistente a productos químicos.

Protección ocular: Gafas de seguridad cerradas. Lavaojos.

Otras protecciones: Duchas en el área de trabajo.

Prácticas higiénicas en el trabajo: No fumar, comer ni beber en zonas donde se manipule o almacene gas licuado. Seguir las medidas de cuidado de cuidado e higiene de la piel, lavando con agua y jabón frecuentemente y aplicando cremas protectoras.

Condiciones médicas agravadas por la exposición: No suministrar epinefrina u otras aminas simpaticomiméticas.

Controles de exposición medioambiental:
El producto no debe alcanzar el medio a través de desagües ni del alcantarillado. Las medidas a adoptar en caso de vertido accidental se pueden consultar en la sección 6 de esta FDS.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto: Gas licuado.
Olor: Característico, reforzado por compuestos de azufre.
Umbral olfativo: NP
Color: Incoloro.
Valor pH: 6,0-8,0
Punto fusión/Punto de congelación: NP
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición: (-26.48 °C) - (-0.34 °C)
Punto de inflamación: (-96.8 °C) - (-75.9 °C)
Tasa de evaporación: NP
Inflamabilidad (sólido, gas): Extremadamente inflamable.
Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad: Límite inferior explosivo: 1.50 - 1.59% Límite superior explosivo: 8.99 - 9.37%
Presión de vapor: 7.5 kg/cm2 máx. a 50 °C (ASTM D2598)
Densidad de vapor: 1.5 - 2 (aire: 1)
Densidad: 0.560 g/cm3 mín. a 15 °C (ASTM D1657)
Solubilidad(es): Hidrosolubilidad: En disolventes orgánicos.
Coeficiente de reparto n-octanol/agua: log Kow: 2.36 - 2.89
Temperatura de auto-inflamación: > 400 °C
Temperatura de descomposición: NP
Viscosidad: NP
Propiedades explosivas: NP
Propiedades comburentes: NP

9.2 Información adicional

Tensión Superficial: 14 - 16 dinas/cm a 0 °C (gas licuado)
Azufre total: 50 ppm máx.. Poder calorífico superior: 11800 Kcal/kg mín.. Olefinas totales: 20% máx. (ASTM D2163)
Hidrosolubilidad: 0.0047% vol/vol

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. Reactividad: En presencia de productos olefínicos y acetilénicos (etil y vinil acetileno).

10.2. Estabilidad química: Estable en condiciones normales. Extremadamente inflamable y combustible.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas: Sustancias oxidantes fuertes.

10.4. Condiciones que deben evitarse: Exposición a llamas, chispas, calor y electricidad estática. Elevadas temperaturas. Exposición al aire.

10.5. Materiales incompatibles: NP

10.6. Productos de descomposición peligrosos: CO2, H2O, CO (en caso de combustión incompleta).

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

La información toxicológica facilitada resulta de la aplicación de los anexos VII a XI del reglamento 1907/2006 (REACH).

Toxicidad aguda: NP

Corrosión o irritación cutáneas: NP

Lesiones o irritación ocular graves: NP

Sensibilización respiratoria o cutánea: NP

Mutagenicidad en células germinales: NP

Carcinogenicidad: No presenta.

La clasificación del producto se corresponde con la comparación de los resultados de los estudios toxicológicos realizados con los criterios que figuran en el Reglamento (CE) nº 1272/2008 para los efectos CMR, categorías 1A y 1B.

Toxicidad para la reproducción: No existen evidencias de toxicidad para la reproducción en mamíferos.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única: NP

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida: NP

Peligro de aspiración: NP

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1. **Toxicidad:** No se dispone de datos ecotoxicológicos. Las propiedades físicas indican que el producto se volatiliza rápidamente en ambientes acuáticos. La combustión de la gasolina es el mayor mecanismo de liberación del producto a la atmósfera.

12.2. **Persistencia y degradabilidad:** El producto se encuentra en fase gaseosa en el aire a temperatura ambiente. No es de esperar que la fotólisis, hidrólisis o bioconcentración del producto constituyan un importante destino medioambiental. La biodegradación del producto puede ocurrir en suelos y agua, no obstante, la volatilización es el proceso más importante. La vida media de evaporación del compuesto en aguas continentales se ha estimado en 2.2 hr (ríos) y 2.6 días (lagos). La reacción con radicales hidroxilo (vida media 6 días) y las reacciones químicas nocturnas con especies radicálicas y óxidos de nitrógeno, pueden contribuir a la transformación atmosférica del producto.

12.3. **Potencial de bioacumulación:** El factor de bioconcentración (log FBC) para el producto ha sido estimado en el rango de 1.78 a 1.97 lo que indica que la bioconcentración en

organismos acuáticos no es importante.

12.4. Movilidad en el suelo: El producto presenta una movilidad en suelo de baja a media.

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB: La sustancia no cumple todos los criterios específicos que se detallan en el Anexo XIII o no permite realizar una comparación directa con todos los criterios del Anexo XIII, pero sin embargo, se señala que la sustancia no presentaría todas estas propiedades y la sustancia no se considera un PBT/vPvB.

12.6. Otros efectos adversos: NP

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Eliminación: Dada la naturaleza altamente volátil del producto y los usos a los que normalmente se destina, no suelen existir excedentes de GLP.

Manipulación: NP

Disposiciones: NP

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

14.1. Número ONU: UN 1075

14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:
GASES DEL PETRÓLEO , LICUADOS.

14.3. Número de identificación de peligro: 23

14.4. Grupo de embalaje

ADR/RID: Clase 2.Código de clasificación: 2F.Código de restricción en túneles: B/D.

IATA-DGR: Clase 2.1.

IMDG: Clase 2.1.

14.5. Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: NP

IATA-DGR: NP

IMDG: NP

14.6. Transporte a granel con arreglo al anexo II del convenio Marpol 73/78 y del código

IMSBC
No tiene categoría asignada para código IMSBC.

14.7. Precauciones particulares para los usuarios
Etiquetado como gas inflamable. Prohibido el transporte en aviones de pasajeros y limitado en barcos de pasajeros.

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente especificas para la sustancia o la mezcla
REGLAMENTO (UE) N o 453/2010: REQUISITOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD
Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA).
Reglamento (CE) no 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas(CLP).
Ley Nº 27314: Ley general de residuos sólidos.
D.S. 057-2004-PCM: que aprueba el reglamento de la Ley N° 27314, Ley general de residuos sólidos.
D.S. 015-2006-EM: Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos.
D.S. 026-94-EM: Reglamento de seguridad para el transporte de hidrocarburos.
D.S. 030-98-EM: Reglamento para la comercialización de combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos.
D.S. 045-2001-EM: Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y otros Productos Derivados de los Hidrocarburos.
D. S. 041-2005-EM: Modificación del D. S. 025-2005-EM que aprueba el cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N.º 1 y N.º 2.
D. S. 025-2005-EM: Aprueban cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N.º 1 y N.º 2.
Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por carretera (ADR).
Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID).
Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG).
Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.
D.S. 021-2007-EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles.
D.S. 064-2008-EM: Modifican Artículos del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles.
RCD-206-2009-OS-CD - Procedimiento Control Calidad de Biocombustibles y Mezclas.
RM 515-2009-MEM-DM - Establecen las Especificaciones de Calidad para el Gasohol.
R. S. 165-2008-MEM/DM: Calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20.
D.S. 061-2009-EM: Establecen criterios para determinar zonas geográficas en que se podrá autorizar la comercialización de combustible diesel un contenido de azufre máximo de 50 ppm.
Código internacional de sustancias químicas a granel (Código IMSBC), Convenio Marpol 73/78.

Reglamento Otros peligros
NP

15.2. Evaluación de la seguridad química
NP

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

Glosario
CAS: Servicio de Resúmenes Químicos.
IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.
ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
TLV: Valor Límite Umbral.
TWA: Media Ponderada en el tiempo.
STEL: Límite de Exposición de Corta Duración.
REL: Límite de Exposición Recomendada.
PEL: Límite de Exposición Permitido.
INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
VLA-ED: Valor Límite Ambiental – Exposición Diaria.
VLA-EC: Valor Límite Ambiental – Exposición Corta.
DNEL/DMEL: Nivel sin efecto derivado / Nivel derivado con efecto mínimo.
PNEC: Concentración prevista sin efecto.
DL50: Dosis Letal Media.
CL50: Concentración Letal Media.
CE50: Concentración Efectiva Media.
CI50: Concentración Inhibitoria Media.
BOD: Demanda Biológica de Oxígeno.
NOAEL: nivel sin efectos adversos observados
NOEL: nivel de efecto nulo
NOAEC: Concentración sin efecto adverso observado
NOEC: Concentración sin efecto observado
NP: No procede
|| : Cambios respecto a la revisión anterior

Bases de datos consultadas
EINECS: European Inventory of Existing Commercial Substances.
TSCA: Toxic Substances Control Act, US Environmental Protection Agency.
HSDB: US National Library of Medicine.
RTECS: US Dept. of Health & Human Services.

Texto completo de las Indicaciones de peligro que no están incluidas en el apartado 2
NP

Las empresas compradoras tienen la obligación de asegurar que sus empleados cuentan con la formación adecuada para manipular y utilizar el producto de forma segura, conforme a las indicaciones incluidas en esta ficha de datos de seguridad.

Asimismo, las empresas compradoras de este producto tienen la obligación de informar a sus empleados, y a las personas que pudieran manipularlo o utilizarlo en sus instalaciones, de todas las indicaciones incluidas en la ficha de datos de seguridad, especialmente, las referidas a los riesgos del producto para la seguridad y salud de las personas y para el medio ambiente.

La información que se suministra en este documento se ha recopilado en base a las mejores fuentes existentes y de acuerdo con los últimos conocimientos disponibles y con los requerimientos legales vigentes sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. Esto no implica que la información sea exhaustiva en todos los casos. Es responsabilidad del usuario determinar la validez de esta información para su aplicación en cada caso.

DOCUMENTO II

PLANOS

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Información no disponible en la versión pública

DOCUMENTO III

ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

Planta de oligomerización de Butano olefínico

ÍNDICE DOCUMENTO III.

ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

- PARTE A. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
- PARTE B. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

PARTE A

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

ÍNDICE

1. Objeto 3
2. Contexto 3
3. Descripción del proyecto 4
3.1. Objeto 4
3.2. Localización del proyecto 4
3.3. Bases para el diseño 4
3.3.1. Alimentación y Productos 4
3.3.2. Descripción del Proceso 4
4. Análisis ambiental 5
4.1. Tamaño y producción de la instalación 5
4.2. Recursos naturales utilizados. 5
4.3. Consumo de agua, energía y combustibles 5
4.3.1. Consumo de electricidad 5
4.3.2. Consumo de agua y vapor 5
4.3.3. Consumo de combustible 6
4.4. Volumen, peso y tipología de los residuos generados. 6
4.5. Calidad y capacidad regenerativa de los recursos naturales de las áreas geográficas que puedan verse afectadas. 6
4.6. Grado de contaminación producida 6
4.6.1. Efectos sobre el agua 6
4.6.2. Emisiones a la atmosfera 7
4.6.3. Conclusiones grado de contaminación producida 7
4.7. Riesgo de accidente 7
4.8. Incorporación o aumento en el uso de sustancias peligrosas. 8
5. Identificación y valoración de aspectos 8
5.1. Consideraciones generales 8
5.2. Alternativas 8
5.3. Fase de realización de las obras de adaptación e integración 9
5.3.1. Efectos sobre el clima 9
5.3.2. Efectos sobre la atmosfera 9
5.3.3. Efectos sobre el suelo 9
5.3.4. Efectos sobre el agua 9
5.3.5. Efectos sobre los niveles de presión sonora 9
5.3.6. Efectos sobre flora y fauna 10

5.3.7. Efectos sobre el paisaje 10
5.3.8. Efectos sobre la socioeconomía del área 10
5.4. Fase de explotación 10
5.4.1. Efectos sobre el clima 10
5.4.2. Efectos sobre la atmosfera 10
5.4.3. Efectos sobre el agua 10
5.4.4. Efectos sobre el suelo 10
5.4.5. Efectos sobre el paisaje 11
5.4.6. Efectos sobre la socioeconomía de la zona 11
5.5. Fase de abandono 11
5.6. Matriz causa-efecto 11
6. Conclusiones y calificación final del proyecto 14
7. Medidas preventivas y correctoras 14
7.1. Medidas preventivas en la fase de obra 15
7.1.1. Residuos 15
7.1.2. Suelo y agua 15
7.1.3. Calidad del aire 15
7.1.4. Ruido 15
7.1.5. Fauna y flora 16
7.1.6. Medio socioeconómico 16
7.1.7. Paisaje 16
7.2. Medidas preventivas en la fase de operación 16
7.2.1. Calidad del aire 16
7.2.2. Aguas 16
7.2.3. Fauna y flora 17
7.2.4. Ruido 17
7.2.5. Paisaje 17
7.2.6. Socioeconomía 17
8. Programa de Vigilancia Ambiental 17
8.1. Objetivos 17
8.2. Medios de realización del PVA 18
8.3. Ejecución y operación del PVA 18
8.4. Resumen y cronograma del PVA 18
9. Bibliografía 21

1. Objeto

El presente estudio tiene el objeto de identificar, evaluar y describir los posibles efectos medioambientales asociados al proyecto de adaptación del proceso oligomerización de butano olefínico a la Unidad de Platformado 1 del C.I. de REPSOL en A Coruña a efectos de conocer los potenciales requerimientos administrativos a seguir en materia ambiental relacionados con el proyecto.

La evaluación ambiental del proyecto se presenta según rige la Ley 21/2013 de 9 de diciembre, con un **Estudio de Impacto Ambiental (EIA)**, definido en el artículo 3, apartado c) como un "documento elaborado por el promotor que acompaña al proyecto e identifica, describe, cuantifica y analiza los posibles efectos significativos sobre el medio ambiente derivados o que puedan derivarse del proyecto, así como la vulnerabilidad del proyecto ante riesgos de accidentes o de catástrofes, el riesgo de que se dichos accidentes o catástrofes y el obligatorio análisis de los probables efectos adversos significativos en el medio ambiente en caso de ocurrencia. También analiza las diversas alternativas razonables, técnica y ambientales viables, y determina las medidas necesarias para prevenir, corregir y, en su caso, compensar los efectos adversos sobre el medio ambiente".

Con esta definición establecida en base a la legislación vigente, el Estudio de Impacto Ambiental estará estructurado tratando de responder a los puntos expuestos en ella.

2. Contexto

La valoración de la influencia que sobre el medio ambiente puede tener la ejecución del proyecto, se aborda mediante el estudio de aquellos componentes del medio que puedan verse expuestos a alguna interacción con la obra indicada, durante su fase de construcción, explotación o en el momento de abandono de la misma.

Según lo establecido en el artículo 9 del Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC), la instalación de la Unidad de Oligomerización de butano olefínico se somete a Autorización Ambiental Integrada por el desarrollo de actividades establecidas en el Anexo I del RDL 1/2016, en concreto el Punto 1.2. Refinerías de petróleo y gas, apartado a) instalaciones para el refino de petróleo o crudo de petróleo.

Según el artículo 10 del RDL 1/2016, la modificación de una instalación sometida a autorización ambiental integrada podrá ser sustancial o no sustancial. Para calificar la modificación de una instalación como sustancial o no sustancial, se tendrán en cuenta las incidencias sobre seguridad, salud de las personas y medioambiente en los siguientes aspectos (apartado 4 del mismo artículo):

- El tamaño y producción de la instalación.
- Los recursos naturales utilizados por la misma
- Su consumo de agua y energía.
- El volumen, peso y tipología de los residuos generados.
- La calidad y capacidad regenerativa de los recursos naturales de las áreas geográficas que puedan verse afectadas.
- El grado de contaminación producido.
- El riesgo de accidente.

- La incorporación o aumento en el uso de sustancias peligrosas.

3. Descripción del proyecto

3.1. Objeto

El objeto del presente proyecto es la adaptación de la Unidad de Platformado 1 al proceso de Oligomerización, con el objetivo de, reutilizando ciertos equipos de la actual unidad, procesar butano olefínico a fin de obtener productos de mayor valor añadido (butano comercial, corte nafta y corte destilado medio) que el obtenido actualmente en la unidad de Platformado 1. La capacidad de producción se establece sin que conlleve un aumento de la capacidad en el Complejo Industrial y cumpliendo con la legislación vigente.

3.2. Localización del proyecto

Información no disponible en la versión pública

3.3. Bases para el diseño

A continuación se describen las modificaciones necesarias para la el cumplimiento del objetivo del proyecto. En el Plano 3 del Documento II se puede ver el Diagrama de Flujo (PFD) para su correcta compresión.

3.3.1. Alimentación y Productos

El proceso de oligomerización está pensado para oligomerizar el butano olefínico de A Coruña tras haber pasado por la unidad de XXXX, con una capacidad de planta de 13,8 t/h de butano.

Como productos finales de la reacción de oligomerización (reacción de dos olefinas de igual o diferente longitud de cadena para dar lugar a una tercera olefina de cadena más larga) se obtiene butano comercial y cortes de gasolina y destilado medio destinados a etapas posteriores de *blending*.
Como producto final se obtendrían aproximadamente **70.000 t/año de butano comercial**.

3.3.2. Descripción del Proceso

La alimentación a la Unidad consiste en una corriente de butano con alto contenido en olefinas procedente de la unidad de XXXX, denominada *Raffinate XXXX.*.
Esta corriente se mezcla en proporción [redacted] (en peso) con una corriente de reciclo para a continuación ser acondicionada hasta una temperatura de [redacted]. La mezcla es enviada al reactor donde tienen lugar las reacciones de oligomerización. A la salida del reactor, el oligomerato se encuentra mezclado con el butano no convertido. Este butano contiene una concentración de olefinas inferior al butano alimentado. El efluente de reacción se acondiciona en un aerorrefrigerador y se envía a un separador Flash en el que, ajustando las condiciones de temperatura y presión, se vaporiza el butano no convertido para ser enviado a la línea de reciclo. El resto del efluente es enviado a la sección de estabilización donde se separa completamente el butano (por cabezas de la torre de destilación) del oligomerato (por el fondo de la torre). El butano separado se encuentra ya dentro de especificación comercial y es almacenado en esferas. El oligomerato se envía a una fraccionadora que separa el corte de nafta (C5-C12) del corte destilado medio (C12-C20).

4. Análisis ambiental

A continuación se analizan los efectos ambientales del proyecto en relación a los aspectos mencionados anteriormente, con el fin de poder disponer de elementos de juicio para la calificación final como "Modificación Sustancial o No Sustancial".

4.1. Tamaño y producción de la instalación

El proyecto consiste en la ejecución de una serie de modificaciones en los equipos de la unidad de Platformado 1 y se llevará a cabo dentro de las instalaciones del Complejo Industrial.

La capacidad productiva del Complejo Industrial no se verá incrementada, dado que, el objetivo del proyecto es la obtención de un producto de mayor valor añadido ya producido actualmente en la refinería, en detrimento del actual producto obtenido en la unidad de Platformado 1.

En relación a lo mencionado anteriormente se considera que el proyecto se podría calificar como **Modificación No Sustancial en cuanto al aspecto "Tamaño y producción de la instalación"** dado que todas las actuaciones del proyecto se integran dentro del recinto del Complejo Industrial de Repsol de A Coruña sin ocupar terreno adicional al ya ocupado actualmente y se mantiene la capacidad productiva del complejo de 6,5 MM t/año de crudo procesado [1].

4.2. Recursos naturales utilizados.

El proyecto no supone un incremento ni alteración de los recursos naturales utilizados en la refinería puesto que el nuevo proceso utiliza equipos ya existentes y no ocupa terreno adicional al ya ocupado actualmente.

4.3. Consumo de agua, energía y combustibles

Para determinar si el consumo de agua, energía o combustibles con la implantación del nuevo proceso requiere un mayor o menor uso de utilidades respecto a la unidad ya existente, se tendrá en cuenta la reutilización de equipos, los cuales serán denominados con la nomenclatura utilizada por Repsol y serán referenciados al Plano de implantación presentado en el Documento II. Planos.

4.3.1. Consumo de electricidad

Con la implantación de este nuevo proyecto se reduce el consumo eléctrico de la unidad ya que el número total de bombas reutilizadas es menor que el número total de bombas en la unidad.

En relación a lo mencionado anteriormente, dado que se trata de un ahorro, se considera que el proyecto se califica como **Modificación No Sustancial en cuanto al aspecto "Consumo de electricidad"**.

4.3.2. Consumo de agua y vapor

Con este nuevo proyecto se reduce el consumo vapor de la unidad al dejar fuera de servicio el compresor de hidrógeno [redacted] (Véase Plano de implantación del Documento II. Planos), accionado mediante una turbina de vapor.

El consumo de agua de la unidad también se reduje al dejar fuera de servicio todos los intercambiadores que utilizan agua para refrigeración, ya que las operaciones de refrigeración se realizan mediante aerorrefrigerafores.

En relación a lo mencionado anteriormente, dado que se trata de un ahorro, se considera que el proyecto se califica como **Modificación No Sustancial en cuanto al aspecto "Consumo de Agua"**.

4.3.3. Consumo de combustible

Con este nuevo proyecto se reduce el consumo de combustible de la unidad al dejar fuera de servicio los hornos [redacted].

En relación a lo mencionado anteriormente, dado que se trata de un ahorro, se considera que el proyecto se califica como **Modificación No Sustancial en cuanto al aspecto "Consumo de Combustible"**.

4.4. Volumen, peso y tipología de los residuos generados.

En el apartado 4.3 se describen las modificaciones requeridas en la implantación del proyecto y estas no suponen la generación de nuevas tipologías de residuos ni un incremento de los residuos generados actualmente en el Complejo Industrial así que **se concluye que es una Modificación No Sustancial,** dado que la variación en el *"Volumen, peso y tipología de los residuos generados"* es nula.

4.5. Calidad y capacidad regenerativa de los recursos naturales de las áreas geográficas que puedan verse afectadas.

La calidad y capacidad regenerativa de los recursos naturales en las áreas próximas a la refinería de A Coruña **no se verá afectada** tras la puesta en marcha del proyecto, dado que todas las actuaciones previstas se realizarán dentro de la parcela ocupada actualmente por el Complejo Industrial, sin que afecte a ningún recurso natural de la zona. Además la zona presenta un carácter industrializado y por tanto, fuertemente antropizado.

Dado que el proyecto:

- No ocupará nuevo suelo fuera del Complejo Industrial no se ubica próximo a ningún área sensible, área protegida o con calificación ambiental singular.
- No se requiere la modificación de las condiciones de uso del suelo ni la recalificación urbanística por desarrollar el proyecto.
- No se requiere la realización de movimientos de tierra en el área que supongan la modificación de cotas topográficas en el área
- No afecta a ningún bien del patrimonio cultural inventariado, ni se considera posible su existencia en la zona de obras (dentro del Complejo Industrial), al estar circunscritas al interior del Complejo Industrial.
- El área no supondrá figura autonómica, estatal o comunitaria de protección de los espacios naturales
- No supondrá una afección significativa al medio

Se concluye dado que no hay afección alguna fuera del Complejo Industrial y que las obras se integrarán con sus instalaciones en el área industrial existente, por lo que se constata que es una Modificación No Sustancial.

4.6. Grado de contaminación producida.

4.6.1. Efectos sobre el agua

Con este nuevo proyecto se reduce el consumo de agua de la unidad al dejar fuera de servicio enfriadores que usaban agua de refrigeración. Esta no utilización implica una disminución del

agua a tratar en la planta de tratamiento de efluentes. Tampoco se prevé un empeoramiento del agua a tratar en la planta de efluentes.

En relación a lo mencionado anteriormente, dado que se trata de una reducción en el agua a tratar en la planta de efluentes, se considera que el proyecto se califica como **Modificación No Sustancial en cuanto a los efectos sobre el Agua vertida**.

4.6.2. Emisiones a la atmosfera

Las modificaciones previstas en la unidad implican una reducción en la emisión de contaminantes a la atmosfera puesto que se sacan de servicio los hornos [redacted]. Adicionalmente, tampoco se contempla la instalación ni modificación de los actuales focos emisores, así como tampoco el empleo de ningún combustible diferente a los ya utilizados.

En relación a lo mencionado anteriormente, dado que se trata de una reducción en las emisiones, se considera que el proyecto se califica como **Modificación No Sustancial en cuanto a los efectos las emisiones a la atmósfera.**

4.6.3. Conclusiones grado de contaminación producida

Se concluye que es una **Modificación No Sustancial,** dado que se producirá una **reducción en la carga a tratar por la planta de efluentes y en las emisiones a la atmósfera.**

4.7. Riesgo de accidente.

Las actuaciones recogidas en el proyecto conllevan la utilización de equipos que existen actualmente en el Complejo Industrial, por lo que no se prevé la incorporación de nuevas sustancias peligrosas en la instalación. Por lo tanto, no se producirá una variación del riesgo de accidente en el Complejo Industrial.

El complejo industrial de Repsol, cumple con la legislación estatal en materia de seguridad sobre:

- Real Decreto 1523/1999, de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas e Instrucciones Técnicas complementarias (aprobado por el RD 2985/1994, de 20 de octubre).
- Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

El Complejo tiene implantado un Sistema de Gestión de Seguridad que cumple con los requisitos establecidos en el RD 840/2015, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, en la Ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales, y en RD 37/1997 de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

Este Sistema de Gestión de la Seguridad se encuentra Certificado bajo criterios de la norma OHSAS 18001:2007 desde mayo de 2006, que establece los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión de seguridad para que se puedan controlar eficazmente los riesgos asociados a las actividades.

En consecuencia, partiendo de la situación actual del Complejo en cuanto a características de instalaciones, actividad y productos empleados, las actuaciones que se contemplan en el presente proyecto y tras el cumplimiento de la normativa e implantación de las medidas de seguridad proyectadas, no se estima que provoquen un incremento del riesgo de accidente.

Dado que no existen nuevos riesgos ni se alteran los principios y política del Sistema de Gestión de Seguridad del Complejo Industrial, se considera que es una Modificación No Sustancial.

4.8. Incorporación o aumento en el uso de sustancias peligrosas.

El proyecto no incorporará ningún nuevo producto o sustancia diferente a los utilizados actualmente en el Complejo y no habrá aumento en el uso de sustancias peligrosas puesto que el objetivo del proyecto es la obtención de productos de mayor valor añadido y no un aumento de la capacidad productiva.

Se concluye que es una **Modificación No Sustancial en cuanto a la incorporación o aumento en el uso de sustancias peligrosas.**

5. Identificación y valoración de aspectos

5.1. Consideraciones generales

En el presente capítulo se pretende determinar e identificar de manera sistemática los posibles efectos potenciales que sobre el medio ambiente, puede causar la realización de las actividades proyectadas. Se identificarán según el **RDL 1/2016, de 16 de diciembre, de Ley de Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC)** y según la sistemática establecida en la **Ley 21/2013, de 9 de diciembre de evaluación ambiental**, aquellos impactos tanto positivos como negativos y se valorarán a posteriori, los resultados obtenidos para argumentar de forma razonada las consideraciones finales.

Así en lo que se refiere a las **FASES TEMPORALES** se habrá de considerar:

- **Fase de obra:** acondicionamiento, obras y puesta en servicio.
- **Fase de explotación:** considerando la fase temporal desde la puesta en marcha a la extinción de la concesión o la vida útil de las instalaciones.
- **Fase de abandono:** en donde se considera el desmantelamiento y evacuación de las unidades proyectadas

Hay que indicar que las actuaciones para llevar a cabo el proyecto se realizarán dentro de la propiedad de REPSOL en el Complejo Industrial de A Coruña, siendo un suelo ya industrializado y con actividades en servicio autorizadas. El complejo dispone de Autorización Ambiental Integrada (Resolución de 27 de abril de 2006), concedida por la Autoridad competente, siendo esta la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente y Desenvolvimiento Sostenible-Xunta de Galicia (DXCA-CMADS).

Por ello, dado que no se llevará a cabo ninguno de los trabajos de adaptación e instalación en el exterior del Complejo, los efectos directos sobre el entorno quedarán reducidos a la ejecución de las tareas de montaje del sistema y a las unidades afectadas.

5.2. Alternativas

Según el **artículo 18, apartado b) de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre**, la solicitud de evaluación ambiental estratégica ordinaria que debe ser presentada por el promotor al órgano correspondiente, deben considerarse las principales alternativas del proyecto. En este caso, no procede hablar de alternativas a la implantación del proyecto, dado que se trata de una mejora ambiental y un ahorro energético para mantener la competitividad del Complejo Industrial de A Coruña.

5.3. Fase de realización de las obras de adaptación e integración

Durante la fase de ejecución del proyecto, dado el alcance de los trabajos proyectados, las actuaciones se consideran de afección mínima.

Así para adecuar las instalaciones existentes es necesario el desmantelamiento de parte de los equipos y tuberías existentes así como preparación de cimentaciones y pavimentos para la instalación de nuevos equipos.

5.3.1. Efectos sobre el clima

Durante la fase de obra se consideran **no significativos** los efectos sobre el clima de la zona.

5.3.2. Efectos sobre la atmosfera

Durante la fase de ejecución del proyecto el posible efecto sobre la atmósfera deriva de la circulación de la maquinaria pesada en el entorno de la planta para el transporte de los nuevos equipos y de maquinaria de construcción. Sin embargo, **el efecto provocado por los gases de escape de los vehículos, no se prevé sustancial** por ser puntual y tratarse de zonas de alta densidad de tráfico, al ser de acceso habitual a las instalaciones del entorno.

5.3.3. Efectos sobre el suelo

En caso de necesitar la realización de alguna excavación en el interior de la propiedad, se llevarían a cabo movimientos de tierra de volumen limitado. Los residuos generados durante la fase de obra, se gestionarán de acuerdo a la legislación vigente y a los estándares de gestión de residuos implantados en el Complejo Industrial, dentro del Sistema de Gestión Ambiental acreditado bajo la norma ISO 14001:2015.

En caso de producirse un derrame accidental, este se recoge en la red de drenaje garantizando la retención y tratamiento del producto derramado. En este caso se actuará según las especificaciones del Sistema de Gestión Ambiental acreditado bajo la norma ISO 14001:2015, que el Complejo Industrial tiene implantado y certificado. Por tanto, **el efecto se considera no significativo.**

5.3.4. Efectos sobre el agua

El Complejo Industrial dispone, en las áreas en que se desarrollarán los trabajos, de suficientes puntos de recogida a la red de drenajes de aguas aceitosas para el envío a la planta de tratamiento de efluentes, con capacidad adecuada para tratar cualquier derrame eventual. En todo caso con arreglo a las normas de trabajo, está expresamente prohibido el vertido a la red de aceitosas sin autorización expresa del personal de Repsol.

Por todo lo comentado anteriormente, se concluye que **el efecto sobre el agua se considera no significativo.**

5.3.5. Efectos sobre los niveles de presión sonora

Las únicas operaciones que podrían generar ruido serían las de montaje de equipos. Dado que, se trata de unidades ya en operación y que en el Complejo Industrial está establecido que las operaciones que puedan generar ruido se realicen en período diurno, **no se espera un efecto significativo por ruido** para las actividades del proyecto.

5.3.6. Efectos sobre flora y fauna

Dado que el área afectada por el proyecto, está dentro de las instalaciones del Complejo Industrial y es una zona industrializada y sin cubierta vegetal, **no se consideran efectos potenciales apreciables, ni cabe efectuar una valoración específica al respecto.**

5.3.7. Efectos sobre el paisaje

Dado que el área afectada por el proyecto está dentro de las instalaciones del Complejo Industrial, las actuaciones **se consideran imperceptibles** desde el exterior y la zona está rodeada de otras unidades de igual altura y similar apariencia.

Así, dado que no se realizará la construcción de una nueva chimenea ni de ningún elemento externo de gran altura que pueda variar el paisaje actual de las instalaciones, los efectos sobre el paisaje se consideran **no significativos**.

5.3.8. Efectos sobre la socioeconomía del área

La realización de los trabajos contemplados en el proyecto, genera un efecto de empleo temporal directo en la obra.

Dado que la realización de estos trabajos se traduce en creación de empleo durante el período de la obra, **el efecto se califica como positivo**.

5.4. Fase de explotación

Los efectos potenciales que se puedan derivar de los aspectos asociados a las actuaciones del proyecto, tienen una mayor relevancia durante la fase de explotación. Así, se procede a continuación a evaluar dichos efectos de forma detallada.

5.4.1. Efectos sobre el clima

Durante la fase de explotación del proyecto se descarta un impacto sobre las características climáticas de la zona. Se considera un **efecto no significativo**.

5.4.2. Efectos sobre la atmosfera

Las modificaciones previstas en la unidad de Platformado 1 no implican nuevas emisiones a la atmósfera, dado que no se contempla la instalación de ningún nuevo foco de emisión ni el aumento de las emisiones actuales.

Previamente se ha comentado que en la implantación del nuevo proyecto se prescinde de la utilización de hornos por operar a temperaturas no tan severas. Esto se traduce a una disminución del consumo de combustible y menores emisiones. Así que cabe considerar este **efecto como positivo**.

5.4.3. Efectos sobre el agua

No se prevén efectos significativos sobre el agua una vez iniciada la fase de explotación del proyecto. Las actuaciones a llevar a cabo implican una reducción del caudal de vertido actualmente recogido por la red de drenaje y tratado en la planta de efluentes.

Asimismo, el proyecto no supondrá la existencia de sustancias nuevas no incluidas en la Autorización Ambiental Integrada del Complejo Industrial, por lo que la calidad del efluente no se verá alterada.

5.4.4. Efectos sobre el suelo

Los efectos sobre el suelo que pueden ser causados por la explotación de las instalaciones modificadas **se consideran nulos** por tratarse de una zona con pavimento de hormigón**.**

En caso de derrame de producto sobre el suelo, este se envía a través de la red de aceitosas, evitando episodios de contaminación, a la planta de efluentes del Complejo Industrial para su posterior tratamiento.
En la fase de explotación del proyecto, no se prevé la generación de residuos diferentes a los declarados actualmente que se generan durante el funcionamiento normal de la Refinería.

5.4.5. Efectos sobre el paisaje

Tal y como se describe en el punto 5.3.6. Efectos sobre el paisaje en la fase de realización de obras, las actuaciones **se consideran imperceptibles** desde el exterior. Por ello cabe considerar que**, una vez comenzada la actividad en las unidades modificadas los efectos sobre el paisaje serán nulos**, al tratarse de un recinto que actualmente ya presenta actividad.

5.4.6. Efectos sobre la socioeconomía de la zona

La reducción del consumo energético y las emisiones a la atmósfera, objeto del presente proyecto, no implican efectos sobre la socioeconomía de la zona durante la fase de explotación.

5.5. Fase de abandono

Para la fase de abandono **no se considera ningún efecto específico,** ya que los trabajos de desmantelamiento se efectúan conjuntamente con el resto de infraestructura relacionada con los equipos de la planta.

5.6. Matriz causa-efecto

Los resultados de la identificación de peligros para las fases de obra, explotación y abandono se recogen en la matriz causa-efecto. Según su rango, su significado ambiental se puede clasificar en:

- Impacto Positivo: aquel que supone una mejora en las condiciones del factor considerado.
- Impacto Despreciable: aquel cuyo efecto no supone un perjuicio apreciable para el factor apreciado.
- Impacto Compatible: aquel en el que la recuperación ambiental del medio es inmediata tras el cese de la actividad, y no precisa prácticas protectoras o correctoras.
- Impacto Moderado: aquel que en la recuperación ambiental no precisa prácticas protectoras o correctoras intensivas, aunque requiere un cierto periodo de tiempo.
- Impacto severo: aquel que en la recuperación ambiental del medio exige la aplicación de medidas correctoras o protectoras, y ene l que, aún con esas medidas, la recuperación ambiental precisa de un periodo de tiempo dilatado.
- Impacto crítico: aquel cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Con él se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso la implantación de medidas correctoras o protectoras.

El análisis cualitativo de resultados se realiza mediante un código de colores asignados a cada uno de los rangos de impacto definidos. El código de colores a seguir se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Código de colores asociados a los impactos ambientales. Fuente: adaptado de [2]

Rango	Código
Positivo	P
No significativo	NS
Compatible	C
Moderado	M
Severo	S
Crítico	Ct

La importancia de los impactos puede ser calculada cuantitativamente, pero ya que el objeto del proyecto es obtener una medida cualitativa de estos, se decide utilizar el código por colores.

La matriz de impactos causa-efecto del proyecto en cuestión se realiza en base a la propuesta de la adaptación de la unidad de Platformado para implantar el proceso de oligomerización, por lo que se debe entender que los efectos positivos se toman respecto a la situación actual en la unidad.

Tabla 2 Matriz ambiental para el proyecto de la unidad de oligomerización. Fuente: Elaboración propia

FACTORES AMBIENTALES	IMPACTOS	FASE DE OBRA				FASE DE EXPLOTACIÓN				FASE DE CLAUSURA*		
		Implantación de la obra y movimiento de tierras	Tráfico de vehículos	Operaciones con material de obra	Colocación de equipos	Funcionamiento de la unidad	Mantenimiento y reparación	Generación de residuos	Carga y descarga de materias primas	Desmantelamiento de la instalación	Restauración del medio	Generación de materiales
Clima	Alteración del clima											
Calidad del aire	Emisión de gases											
	Emisión de partículas											
Geología y geomorfología	Alteración del suelo											
Hidrología	Alteración de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas											
Presión Sonora	Generación de ruido											
Flora y Fauna	Alteración/destrucción de la flora y fauna											
Paisaje	Impacto visual											
Socioeconomía	Alteración del sector productivo y desarrollo socioeconómico											

*La fase de clausura, al realizarse con el resto de la planta, no se considera en el alcance de este proyecto.

6. Conclusiones y calificación final del proyecto

La ejecución del proyecto de adaptación de la unidad de Platformado 1 al proceso de oligomerización que se ha proyectado para las instalaciones de Repsol en A Coruña, tras la evaluación respecto a los criterios del artículo 10 del RDL 1/2016 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, puede clasificarse como **MODIFICACIÓN NO SUSTANCIAL**, dado que no provoca variación significativa en cuanto a las condiciones de seguridad, salud de las personas y el medio ambiente.

A continuación se muestran las conclusiones de los aspectos valorados, en función del citado artículo del RDL 1/2016 con el fin de disponer de elementos de juicio para calificar la ejecución del proyecto como "modificación no sustancial".

Tabla 3 Conclusiones sobre la modificación de la instalación.

Aspectos analizados	Afectación	Calificación
Consumo de energía eléctrica	Reducción	Modificación no sustancial
Consumo de agua para la generación de vapor	Reducción	Modificación no sustancial
Consumo de combustibles	Reducción	Modificación no sustancial
Residuos generados	No modifica	Modificación no sustancial
Recursos naturales	Reducción	Modificación no sustancial
Emisiones a la atmósfera	Reducción	Modificación no sustancial
Efectos sobre el agua: caudal de planta de tratamiento de efluentes	Reducción	Modificación no sustancial
Riesgo de accidente: incorporación de sustancias peligrosas	No modifica	Modificación no sustancial
CALIFICACIÓN FINAL	**MODIFICACIÓN NO SUSTANCIAL**	

Finalmente, en relación a todo lo valorado en el Estudio de Impacto Ambiental según la legislación de referencia, pautas de actuación y los datos de la Refinería de Repsol en el C.I. de A Coruña, se puede concluir justificadamente que el proyecto de adaptación de la unidad de Platformado 1 al proceso de oligomerización se considera un **Modificación No Sustancial**.

Teniendo en cuenta que la modificación evaluada cabe considerarla como una modificación no sustancial de la Autorización Ambiental Integrada, otorgada por Resolución de 27 de abril de 2006, se considera que, conforme a lo dispuesto en el artículo 10 del RDL 1/2016, de 16 de diciembre, de Ley de prevención y control integrados de la contaminación, al tratarse de una modificación no sustancial y siempre y cuando el órgano competente no manifieste lo contrario en el plazo de un mes, **no resultaría aplicable la prescripción de la Evaluación de Impacto Ambiental dictada en el RDL 1/2016**.

7. Medidas preventivas y correctoras

Las medidas preventivas y correctoras tienen como objetivo minimizar el impacto ambiental producido por la instalación propuesta en el proyecto. Como se comentaba anteriormente, los impactos que generaría el proyecto se desarrollan en base a la situación actual en Platformado 1. A continuación se detallan las medidas protectoras y correctoras en fase de construcción y

explotación. La fase de desmantelamiento se omitirá dado que es una cuestión que afecta a toda la refinería y no se encuentra dentro del alcance de este proyecto.

7.1. Medidas preventivas en la fase de obra

A continuación se describen las medidas cautelas a llevar a cabo durante la fase de obra de la instalación proyectada. Como medida general para la fase de construcción cabe mencionar que estarán basadas en criterios medioambientales. Las medidas han sido agrupadas por elementos del medio [3] [4] [5].

7.1.1. Residuos

- Los residuos serán almacenados en la propia obra mediante contenedores aptos para cada tipo
- Los residuos peligrosos tendrán sus propios contenedores para ser almacenados con su correspondiente etiquetado para facilitar su identificación
- En caso de derrames de residuos peligrosos estos serán retirados por un gestor autorizado en la materia y se gestionarán en base a la normativa vigente.

7.1.2. Suelo y agua

- Aplicar una mecánica preventiva para evitar derrames de combustible de maquinaria o aceites
- Las operaciones de limpieza y mantenimiento de vehículos y maquinaria se llevará a cabo en una zona habilitada fuera de la zona de la instalación.
- Los residuos generados no serán depositados en cauces de agua, naturales o artificiales, para lo cual deberán ser gestionados según la legislación vigente en materia de residuos.
- En cuanto a la minimización del consumo de agua, se realizará una planificación previa de las actividades para optimizar su uso. Las instalaciones de agua se mantendrán en correcto estado de mantenimiento para evitar fugas.

7.1.3. Calidad del aire

- Se minimizará el levantamiento de polvo durante operaciones de carga y descarga. El apilamiento de materiales en zonas con viento se evitará.
- Se regarán las pistas de carga de los camiones y de las áreas de trabajo
- Se realizará un correcto mantenimiento de los vehículos y maquinaria para minimizar las emisiones

7.1.4. Ruido

- Se prestará especial atención a los equipos con niveles altos de vibración usando silenciadores en los escapes de los vehículos y ejecutando los trabajos en periodo diurno
- Otras medidas preventivas para minimizar el impacto acústico:
    - Programación de actividades con altos niveles sonoros para reducir los periodos de emisión prolongados y/o durante los fines de semana
    - Comprobación, al inicio de la obra, que la maquinaria se ha sometido a inspecciones técnicas
    - Respetar los límites de velocidad de los vehículos

7.1.5. Fauna y flora

- Reducción de la contaminación lumínica para evitar perturbaciones en el entorno que rodea a la instalación

7.1.6. Medio socioeconómico

- La duración de las obras se realizarán en el menor tiempo posible con el objetivo de reducir las posibles molestias a la población
- Se empleará preferentemente mano de obra local para las tareas de construcción, de manera que se incremente el nivel de población activa en los municipios de los alrededores
- Se seguirán las directrices del Plano de Calidad y Seguridad e Higiene en el Trabajo o herramienta equivalente
- Para los transportes especiales se utilizarán rutas y horario de tráfico para alterar lo mínimo posible el tráfico de la zona

7.1.7. Paisaje

La afectación al paisaje no es un factor a tener en cuenta para las medidas preventivas.

7.2. Medidas preventivas en la fase de operación

A continuación se detallan algunas medidas protectoras, generales y particulares durante la fase de explotación del proyecto [3] [4] [5].

7.2.1. Calidad del aire

- Se establecerán programas y redes de vigilancia y control de la calidad del aire
- Se utilizarán antorchas para la quema controlada de venteos
- El llenado de los recipientes de almacenamiento se realizará por el fondo, puesto que en el manejo de material volátil se puede reducir significativamente las emisiones

7.2.2. Aguas

- Los residuos generados serán almacenados siguiendo la normativa vigente
- Las operaciones de mantenimiento de maquinaria y vehículos se realizarán en una zona apta con un sistema de recogida de efluentes
- Se emplearán colectores adecuados para la recogida de agua de lluvia
- Las descargas y drenajes no serán enviados a las redes de agua, sino que serán almacenados hasta ser sometidos a etapas de tratamiento posteriores
- En caso de derrames, fugas o pérdidas de contención se emplearán:
    - Cubetos y equipos metálicos aislados del suelo para evitar corrosión por humedad
    - Seguir estrictamente programas de mantenimiento con inspecciones periódicas para los equipos
    - Durante las fases de diseño se realizarán estudios de prevención de fugas y mantenimiento preventivo (limpieza e inspección periódica)

7.2.3. Fauna y flora

- Reducción de la contaminación lumínica para evitar perturbaciones en el entorno que rodea a la instalación

7.2.4. Ruido

- Se realizarán mediciones periódicas para la comprobación de que los niveles sonoros no sobrepasan los límites establecidos en la legislación
- La maquinaria tendrá su correspondiente etiqueta con el marcado CE, con acreditación de cumplimiento de restricciones acústicas
- La velocidad de los vehículos estará limitada a 20 km/h

7.2.5. Paisaje

El paisaje no es un factor afectado en este proyecto

7.2.6. Socioeconomía

- Se ejercerá una correcta labor comunicativa por parte de los responsables del proyecto con los agentes sociales y económicos

8. Programa de Vigilancia Ambiental

El Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) se define como el proceso de control y seguimiento de los aspectos medioambientales del proyecto. La finalidad es establecer un sistema que garantice el cumplimiento de las medidas protectoras contenidas en el EIA.

El objetivo básico del seguimiento y control consistirá en anteponerse y subsanar los principales problemas que puedan surgir durante la ejecución de las medidas preventivas y correctoras. La primera fase previene los impactos, y la segunda está basada en la recuperación de las infraestructuras que hayan podido quedar dañadas [5].

8.1. Objetivos

Según establece la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, en el Anexo VI, apartado 6, los objetivos establecidos son los siguientes:

- Vigilancia ambiental durante la fase de obras
    - Detectar y corregir desviaciones, con relevancia ambiental, respecto a lo proyectado en el proyecto de construcción
    - Supervisar la correcta ejecución de las medidas ambientales
    - Determinar la necesidad de suprimir modificar o introducir nuevas medidas
    - Seguimiento de la evolución de los elementos ambientales relevantes
- Seguimiento ambiental durante la fase de explotación. El EIA justificará la extensión temporal de esta fase, considerando la relevancia ambiental de los efectos adversos previstos:
    - Verificar la correcta evolución de las medidas aplicadas en la fase de obras
    - Seguimiento de la respuesta y evolución ambiental del entorno a la implantación de la actividad

- Diseñar los mecanismos de actuación ante la aparición de efectos inesperados o mal funcionamiento de las medidas previstas

8.2. Medios de realización del PVA

Es aconsejable que el desarrollo del Programa de Vigilancia Ambiental se lleve a cabo a través de una Entidad independiente a las partes implicadas en la ejecución del proyecto (contrata y contratista) para así asegurar la independencia de su puesta en práctica. Dicha Entidad estará adscrita a la Dirección de Obra e integrada en la Asesoría Ambiental de la misma [5].

Para ejecución del Programa se dotarán de Medios:

- Medios humanos, a través de personas con experiencia y conocimientos suficientes para llevar a cabo las labores de seguimiento a jornada parcial. Se podrá contar con la participación de supervisores medioambientales que ayuden a la interpretar resultados, datos y resolver problemas
- Medios materiales: el equipo de Seguimiento Ambiental dispondrá de medios materiales para la ejecución de su labor

8.3. Ejecución y operación del PVA

El desarrollo cronológico de ejecución del PVA se corresponde con las siguientes tareas [5]:

1. Preparación de los medios de vigilancia y material necesario: calibración de aparatos, compra de material fungible, preparación del formato de registros, etc.
2. Recogida de datos, almacenamiento y su clasificación sistemática a cargo de Supervisor Ambiental.
3. Interpretación de la información recogida
4. Fase de gestión y mejora del programa.

8.4. Resumen y cronograma del PVA

A continuación se resume en la tabla 4 la propuesta de un PVA para la fase de funcionamiento del proyecto, indicando la frecuencia de las actuaciones que incluye.

Tabla 4 Tabla resumen del PVA en fase de funcionamiento. Fuente: adaptado de [5]

PARÁMETRO	PUNTO DE MUESTREO	FRECUENCIA DE MUESTREO	OBSERVACIONES
CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA			
1. Control de emisiones al aire			
SO_2, NOx, CO_2, O_2 y partículas	Todas las chimeneas	En continuo	Opacímetro y analizador multiparamétrico en las chimeneas
Análisis del combustible	Gas natural, fuel gas y fueloil	En continuo	
Balance de emisiones	.	Periódica	

Obtención de contaminantes emitidos	Todas las chimeneas	Anual	Obtención de emisiones para informar a la autoridad competente
2. Control de la calidad del airea y meteorología del entorno			
Inmisión de contaminantes y meteorología	Estaciones de la RCAPV más próximas al emplazamiento	Periódico (por Administración)	Datos obtenidos de la RCAPV
TORRES			
Altura y extensión de penachos de vapor	Según el penacho	4 campañas/año durante 2 años	Empleo de fotografía
Deposición de sales	Cercanía de las torres	4 campañas/año durante 1 año	
VIGILANCIA DEL IMPACTO ACÚSTICO			
Presión sonora	Puntos de medida de las campañas en situación preoperacional	Cada 4-5 años	
VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES			
1. VIGILANCIA ESTRUCTURAL			
Infraestructura de vertido no bloqueada	Infraestructura de vertido	En continuo	
2. CONTROL DE VERTIDO			
Medida del caudal	Punto de vertido	Diaria	
Análisis de pH, DQO, sólidos en suspensión, aminas, nitratos y temperatura		Diaria	
Coliformes totales y fecales		Cada 15 días	En periodo estival
CONTROL DE LA PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS			
Volumen de resiguos generados	Foco de residuo	En continuo	
Gestión de residuos con gestores autorizados	Declaración anual de residuos	Anual	
Inspección anual de residuos	Puntos de acopio y almacén de residuos	En continuo	
CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO Y AGUAS SUBTERRÁNEAS			
Contaminantes en aguas subterráneas	Red de piezómetros	Periódica	

Control de tuberías y conducciones	Red de tuberías y conducciones de la refinería	Periódica	
Revisión del estado de tanques de almacenamiento y de materias primas	Instalaciones de almacenamiento	Periódica	
Revisión del sistema de alarmas de alto y muy alto nivel			

9. Bibliografía

1. REPSOL. Información confidencial
2. AYUNTAMIENTO DE CÁDIZ. *Plan General de Ordenación urbanística de el Puerto de Santa María. Capítulo 7. Identificación y Valoración de Impactos.* Marzo 2011. [en línea] [Fecha de consulta: 20 Junio 2019]. Disponible en: http://www.elpuertodesantamaria.es/pub/urbanismo/dic13/pgou/estudio_impacto_ambiental.pdf
3. ANHIDRA, Consultoría Agroambiental S.L.P. *Estudi d´Impacte Ambiental de l´ampliació del dipósit controlat de residus sólids urbans, cel-les C i D (fase 2) de Tárrega* (L'Urgen), 2016. [en línea] [Fecha de consulta: 20 Junio 2019]. Disponible en: http://www.girona.cat/adminwebs/docs/e/i/eia_memoria.pdf
4. IDOM, 2007. Planta de producción de Ácido Sulfúrico en el Puerto de Bilbao. Estudio de Impacto Ambiental. Acoleq Químicos, 2007. pp. 115-126 [en línea] Fecha de consulta: 20 Junio 2019]. Disponible en: http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/esia_acoleq/es_doc/adjuntos/esia_acoleq.pdf
5. PETRONOR. *Proyecto: Nuevas Unidades para reducir la producción de fueloil.* Proyecto técnico y Estudio de Impacto Ambiental. Marzo 2008, Rev. 1[en línea] [Fecha de consulta: 20 Junio 2019]. Disponible en: http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/esia_urf_petronor/es_doc/adjuntos/esia_urf.pdf

PARTE B

ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

ÍNDICE

1. Objeto del estudio 4

2. Aplicación y obligatoriedad 4

3. Características generales de la obra 5

3.1. Condiciones del entorno donde se va a realizar la obra 5

3.1.1. Descripción del lugar donde se va a realizar la obra 5

3.1.2. Primeros auxilios y asistencia sanitaria 5

3.1.3. Suministro de energía eléctrica, agua y disponibilidad de saneamiento 5

3.1.4. Tráfico rodado y acceso de vehículos 6

3.1.5. Interferencias con elementos y/o instalaciones en la zona de obra 6

3.1.6. Fases de construcción de la obra 6

3.1.7. Medios auxiliares previstos 6

3.1.8. Construcciones previstas 7

3.1.9. Maquinaria necesaria 7

3.1.10. Zona prevista para material 7

3.1.11. Limpieza y recogida de desechos, escombros y basura durante la obra 7

3.1.12. Zonas de especial riesgo 7

3.1.13. Zonas de aparcamiento, reparación y mantenimiento de maquinaria 7

3.1.14. Zonas de almacenamiento de locales de obra 8

3.1.15. Delimitación de zonas de paso y circulación 8

3.1.16. Servicios disponibles en obra 8

3.1.17. Limpieza y mantenimiento de los servicios 9

4. Análisis de riesgos durante la obra 9

4.1. Estructuras de hormigón 9

4.2. Movimientos de tierra 9

4.3. Trabajos en altura 10

4.4. Edificios 10

4.5. Trabajos de saneamiento y tuberías 10
4.6. Trabajos de soldadura 10
4.7. Instalación eléctrica 10
5. Seguridad y medidas de prevención 11
5.1. Programas de seguridad 11
5.2. Programa de salud 11
5.3. Programa médico 11
5.4. Seguridad de productos 11
5.5. Recomendaciones de seguridad 11
5.6. Manejo de equipos 12
5.6.1. Bombas, válvulas y tuberías 12
5.6.2. Intercambiadores de calor 12
5.6.3. Sistemas de antorcha y descarga de presión 12
5.7. Lucha contra incendios y equipos de protección 12
5.8. Condiciones de los medios de protección 13
5.8.1. Protecciones individuales 13
5.8.2. Protecciones colectivas 13
5.9. Prevención de riesgos para daños ocasionados a terceros 13
5.10. Formación e información de seguridad y salud 14
6. Conclusiones 14
7. Bibliografía 15

1. Objeto del estudio

Este Estudio de Seguridad y Salud pretende establecer los riesgos y medidas a adoptar en relación con la prevención de accidentes y enfermedades profesionales, además de los derivados de los trabajos de reparación, conservación, entretenimiento y mantenimiento que se realicen durante el tiempo de garantía. También se definirán las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores a adoptar durante el desarrollo de las actividades desarrolladas en el proyecto [1].

Además, servirá para establecer las directrices básicas a la empresa constructora, para llevar a cabo su obligación de redacción de un Plan de Seguridad y Salud en el que se estudien y desarrollen las previsiones contenidas en este estudio. Por este motivo, los errores u omisiones que puedan existir en el mismo nunca podrán ser tomados por el contratista en su favor [1].

2. Aplicación y obligatoriedad

El Real Decreto 1627/1997 [2] del 24 de octubre establece en el marco de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales la obligatoriedad de elaborar un Estudio de Seguridad y Salud en las obras, siempre que se produzca alguno de los casos siguientes:

- "Que el presupuesto de ejecución por contrata incluido en el proyecto sea igual o superior a 75 millones de pesetas (450.759,08 €)." [2].
- "Que la duración estimada sea superior a 30 días laborables, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente." [2]
- "Que el volumen de mano de obra estimada, entendiendo por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra, sea superior a 500." [2]
- "Las obras de túneles, galerías, conducciones subterráneas y presas." [2]

Dadas las características de lo proyectado se cumplen la segunda y la tercera condición, por lo que se justifica la obligatoriedad de la redacción del presente documento. En éste se recogen los riesgos laborales previsibles y las medidas preventivas a adoptar [1].

El contratista deberá disponer de una organización preventiva. Esta organización debe ser pasmada en el Plan de Seguridad y Salud, que contemplará los recursos preventivos necesarios para las actividades objeto de la obra. La empresa contratista tiene la obligación de designar en el Plan a una persona responsable de la coordinación empresarial que está obligado a llevar acabo según lo plasmado en el R.D. 171/2004 de 30 de enero [1].

La Ley 54/2003 establece la obligatoriedad de concentrar en el trabajo los recursos preventivos de cada contratista durante la ejecución de actividades que sean peligrosos o con riesgos especiales, con el fin de vigilar el cumplimiento de las medidas incluidas en el Plan de Seguridad y Salud y comprobar la eficacia de éstas:

- "Para cumplir con las obligaciones preventivas de carácter general anteriormente establecidas en virtud la legislación vigente, y sin perjuicio de lo establecido en el Estudio de Seguridad y Salud, el empresario contratista principal deberá disponer de una organización preventiva cuyas funciones, responsabilidades, integrantes y organización deberán concretarse en el Plan de Seguridad y Salud de la obra." [1].

- "Se deberá definir la planificación preventiva de la obra, los procedimientos de formación e información a los trabajadores, los métodos de vigilancia preventiva, los protocolos de coordinación empresarial con subcontratistas, trabajadores autónomos y empresas concurrentes y, con carácter general, definir y supervisar toda la acción preventiva de la obra." [1].
- "Además, el empresario deberá disponer de cuantos trabajadores (ya se trate de trabajadores designados o pertenezcan al servicio de prevención) sean necesarios que, cumpliendo con los requisitos legales, ejerzan las funciones de recursos preventivos y lleven a cabo la vigilancia exhaustiva sobre el cumplimiento de lo dispuesto en el plan de seguridad y salud comprobando tanto el cumplimiento como el correcto estado de las medidas preventivas tanto en el comienzo de cada actividad como durante la ejecución de las mismas." [1].

El contratista está obligado a incluir un Plan de Emergencias y Evacuación junto al Plan de Seguridad y Salud de la pobra en el que se preste atención a lo relacionado con los primeros auxilios, lucha contra incendio y evacuación de los trabajadores [1].

3. Características generales de la obra

La obra se basa en la construcción de una Planta de Oligomerización de Butano Olefínico dentro del C.I. REPSOL Petróleo A Coruña. La construcción tendrá lugar dentro del propio complejo industrial, cuyos datos catastrales se encuentran detallados en la Memoria, en el apartado correspondiente a la localización.

3.1. Condiciones del entorno donde se va a realizar la obra

3.1.1. Descripción del lugar donde se va a realizar la obra

La obra se realizará dentro del Complejo Industrial REPSOL Petróleo A Coruña, cuya información catastral aparece descrita en la Memoria. Se trata de un entorno industrial de acceso restringido, sin desniveles notables y suelo pavimentado con asfalto.

3.1.2. Primeros auxilios y asistencia sanitaria

- Primeros auxilios: Botiquín portátil en la obra.
- Atención primaria: Médico presente en el C.I. durante el transcurso de la obra. Atención de urgencia en el Hospital Universitario CHUAC-A Coruña.
- Asistencia especializada: Hospital Universitario CHUAC-A Coruña.

3.1.3. Suministro de energía eléctrica, agua y disponibilidad de saneamiento

Todas las utilidades necesarias, así como el saneamiento, se ven cubiertas por la propia naturaleza del Complejo Industrial. Existen tomas de red eléctrica, agua de servicio y agua potable y red de saneamiento propia.

3.1.4. Tráfico rodado y acceso de vehículos

El acceso de los materiales necesarios para la obra se efectuará a través de las carreteras existentes dentro del Complejo Industrial. A través de la carretera AC-415, visible en el plano de emplazamiento, se efectuará la entrada de los materiales al Complejo Industrial.

3.1.5. Interferencias con elementos y/o instalaciones en la zona de obra

Dado que la zona de obra estará rodeada de equipamiento industrial será necesario extremar el cuidado a la hora de manejar maquinaria pesada. Debido al acceso restringido a la instalación no se contempla la presencia de peatones ni elementos urbanos.

3.1.6. Fases de construcción de la obra

1. Reconocimiento del terreno por el contratista para emitir un presupuesto y comprobar la existencia de los medios, personal y maquinaria necesarios para realizar todas las tareas.
2. Organización de los trabajos. Debe existir una organización entre el contratista, la Dirección Técnica y el Coordinador de Seguridad y salud en la fase de ejecución para elaborar las normas necesarias para el tipo de obra. Se planificarán los trabajos y se añadirán al Plan de Seguridad y Salud, además de evaluarse los riesgos presentes en la actividad.
3. Obtención de todos los permisos, autorizaciones y documentos legales necesarios para realizar los trabajos.
4. Organizar la zona de la obra teniendo en cuenta:
    a. Accesos a la obra (personal, vehículos…)
    b. Interferencias con elementos y/o instalaciones cercanas a la zona de la obra.
    c. Suministro de material de construcción.
    d. Localización de la maquinaria necesaria para realizar los trabajos.
    e. Extintores y equipos de lucha contra incendio.
    f. Accesos de maquinaria pesada, así como su posición y radio de acción.
5. Desarrollo de trabajos. Se contempla:
    a. Colocación de anclajes y depósitos.
    b. Soldaduras
    c. Comprobación de soldaduras por rayos X.
    d. Cimentaciones.
    e. Montaje de andamios.

3.1.7. Medios auxiliares previstos

- Escaleras de mano.
- Andamios.
- Cuerdas, arneses…
- Cables.

Es responsabilidad del contratista la adquisición de los medios, ya sea por alquiler o por subcontratación bajo su control directo. Es necesario que se mantengan en buen estado para evitar fallos, accidentes o malos funcionamientos.

3.1.8. Construcciones previstas

- Recepción de la maquinaria y herramientas.
- Colocación de andamios y equipos auxiliares necesarios.
- Colocación de depósitos.
- Montaje de equipos y tuberías.
- Soldaduras y pertinente comprobación.
- Colocación de accesorios (equipos de control).
- Obras complementarias.

3.1.9. Maquinaria necesaria

La maquinaria prevista inicialmente para la realización de la obra se compone de:

- Grúa elevadora.
- Camión transportador con brazo mecánico.
- Dumper.
- Herramientas: sierras radiales, cizallas, llaves, sierras y similares.
- Compresor móvil.
- Carretillas elevadoras.

Se considera que la maquinara fija de obra sea propiedad del contratista.

3.1.10. Zona prevista para material

La zona de acopio de material debe ser la mayor posible y procurar que esté cubierta por el rango de acción de una grúa instalada en la obra. Deberá ser de fácil acceso para vehículos transportadores y facilitar la fluidez de las tareas dentro de la obra.

3.1.11. Limpieza y recogida de desechos, escombros y basura durante la obra

Al final de cada jornada habrá una persona responsable de recoger y amontonar los escombros, desechos y basuras generados durante la ejecución de la obra. Dichos desechos deberán ser transportados a contenedores habilitados para ese propósito. En los planos de seguridad debe ser indicado el lugar para acopio de material y acumulación de desechos.

3.1.12. Zonas de especial riesgo

Las zonas que puedan suponer riesgos especiales como almacenes de combustible, centros de transformación, etc., deberán estar equipadas de manera que los trabajadores no autorizados puedan entrar en las mismas [1].

Se deben tomar las medidas necesarias para proteger a los trabajadores autorizados a entrar en las zonas de peligro y podrán acceder a las zonas o recintos de riesgo sólo aquellos trabajadores que hayan recibido formación específica [1]

3.1.13. Zonas de aparcamiento, reparación y mantenimiento de maquinaria

Estas zonas deben ser habilitadas por el contratista bajo la supervisión del Coordinador de Seguridad y Salud.

Es recomendable la utilización de dos zonas independientes: uno para la maquinaria (palas, *dumpers*, camiones…) y otro para los equipos y maquinaria auxiliar. Estos puntos deben estar situados en lugares separados de la obra y con una fácil comunicación para facilitar el acceso a la zona de la obra y que no se produzcan interferencias con maquinaria móvil [3].

Estos recintos deben ser vallados y señalizados correctamente para poder identificarlos con claridad. En su interior, la maquinaria deberá mantenerse agrupada según su tipo y se dedicará una parte exclusivamente a la reparación y mantenimiento.

Debe haber una persona encargada del control del acceso al recinto, ayudando a las operaciones de entrada y salida cuando sea necesario.

El lugar debe ser indicado en el Plan de Seguridad y Salud.

3.1.14. Zonas de almacenamiento de locales de obra

Debe haber locales habilitados para el almacenaje de los materiales y elementos de obra, a una distancia tal que permita un fácil acceso a la zona de obra.

Los materiales y elementos manipulados deben almacenarse según lo que se indica a continuación [3]:

- Maderas y material para encofrado: Locales cerrados y protegidos del exterior para evitar su contacto con el agua.
- Sacos de cemento y mortero prefabricado: Locales cerrados y protegidos para evitar que entren en contacto con el agua. Debe estar situado cerca del acceso a la obra.
- Tuberías: Se almacena en función del tipo del material y a la intemperie. Se deberá mantener el embalaje de fábrica hasta su utilización para evitar la caída de los tubos.
- Tierras: Almacenamiento a la intemperie en un entorno accesible y balizado. En caso de necesidad, no se utilizarán hasta que estén secos.
- Válvulas: Almacenamiento por tipos en locales totalmente cerrados y bien protegidos del exterior.
- Materiales tóxicos y/o inflamables: Almacenamiento en recipientes herméticos para evitar fugas, en locales cerrados y aislados del exterior. La hoja de producto debe de estar presente en el embalaje y el entorno debe de estar señalizado indicando el tipo de material que se almacena. El acceso a estos locales debe estar controlado por una persona encargada y con formación suficiente acerca de las materias que se almacenan.

3.1.15. Delimitación de zonas de paso y circulación

Las zonas de paso serán delimitadas en función de las actividades que se ejecuten. Se deben aislar las zonas de paso de vehículos de las de personal de obra mediante cintas o vallas para que se garantice la visibilidad a lo largo de la jornada laboral [4]. Los puntos conflictivos que puedan surgir en zonas de entrada y salida deben ser correctamente señalizados para facilitar la circulación.

3.1.16. Servicios disponibles en obra

El suministro de agua de servicio, agua potable y energía eléctrica procederá de la propia red del Complejo Industrial.

Las instalaciones sanitarias (letrinas, retretes, sistema de descarga…) deben ajustarse a las restricciones de las autoridades competentes.

Si existe posibilidad de contaminación cutánea (productos tóxicos, corrosivos, irritantes…) por parte de los trabajadores será necesario instalar un número suficiente de duchas que permitan lavarse rápidamente.

Los vestuarios para los trabajadores deben estar ubicados de manera que sea fácil acceder a ellos. Deben ser usados para los fines previstos y contar con medios apropiados para el lavado de la ropa y la separación de la ropa de calle y de trabajo.

Deberán existir medios en la obra o en las instalaciones a través de los cuales los trabajdores tengan acceso a comidas y bebidas.

3.1.17. Limpieza y mantenimiento de los servicios

El contratista debe elaborar y aplicar un programa de orden y limpieza mediante la contratación de un servicio dedicado a la limpieza de los comedores y vestuarios. La limpieza deberá realizarse dos veces al día, una vez después del turno de mañana y otra al final de la jornada [3].

El contratista debe nombrar un retén de dos operarios para complementar el servicio de limpieza en caso de emergencia. Debe controlarse el buen uso de las instalaciones, así como su mantenimiento.

4. Análisis de riesgos durante la obra

Tal y como estipula el R.D. 1627/1997 [2], el estudio básico ““deberá precisar las normas de seguridad y salud aplicables a la obra. A tal efecto, deberá contemplar la identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias para ello”.

A continuación, se enumeran los riesgos contemplados para la obra de construcción de la planta de oligomerización de butano olefínico.

4.1. Estructuras de hormigón

Los más importantes serían [3]:

- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.
- Caídas a distinto nivel o en altura.
- Caídas al mismo nivel.
- Cortes en extremidades.
- Dermatitis por el contacto directo con el cemento.
- Vibraciones.
- Ruido.

4.2. Movimientos de tierra

Teniendo en cuenta la explanación, relleno y compactación, se tienen en cuenta los siguientes riesgos [3]:

- Desprendimientos.
- Caídas a distinto y al mismo nivel.
- Vuelco en maniobras.
- Accidentes durante la circulación de vehículos (aplastamiento y atropellos).
- Accidentes por conducción en ambientes o terrenos desfavorables.

4.3. Trabajos en altura

Se incluyen los trabajos realizados a más de dos metros sobre el nivel del suelo, contemplando los siguientes riesgos:

- Caídas a mismo o distinto nivel.
- Deslizamientos y resbalones.
- Heridas en extremidades.
- Trabajos en condiciones ambientales adversas.
- Riesgos a terceros por caída de objetos desde altura.

4.4. Edificios

Riesgos típicos de las actividades albañiles, tales como [3]:

- Proyecciones a ojos.
- Caídas a distinto nivel o en altura.
- Sobreesfuerzos.
- Proyecciones a ojos.
- Cortes por manejo de materiales.

4.5. Trabajos de saneamiento y tuberías

Los riesgos más destacables serían [3]:

- Caídas al mismo nivel o en altura.
- Sobreesfuerzos.
- Golpes por objetos.
- Desplome de taludes.

4.6. Trabajos de soldadura

Se tendrá en cuenta, principalmente [3]:

- Proyecciones.
- Daños dérmicos y oculares.
- Explosiones.
- Choque eléctrico.
- Cortes.
- Exposición a humos y gases tóxicos.

4.7. Instalación eléctrica

Se tendrá en cuenta, principalmente [3]:

- Choque eléctrico.
- Quemaduras.

- Caídas a distinto y mismo nivel.

5. Seguridad y medidas de prevención

La seguridad, la prevención, la protección contra incendios y la higiene industrial son ramas fundamentales de la industria y pueden realizarse como funciones independientes o integradas en las operaciones de la propia compañía [4].

5.1. Programas de seguridad

Entre los programas de seguridad y prevención que se elaboran para llevar a cabo una buena actividad en la planta destacan [4]:

- Revisiones de diseño y construcción.
- Prácticas y procedimientos seguros de trabajo.
- Programas de seguridad eléctrica y protección de máquinas.
- Entrada en espacios confinados e inertes.
- Señales y rótulos de seguridad.

5.2. Programa de salud

Acorde a las bases de la Higiene Industrial se deben realizar controles técnicos y administrativos que tengan en cuenta la exposición a productos tóxicos o nocivos en las instalaciones, seguridad en laboratorio, ergonomía y vigilancia médica. Los límites de exposición admisibles a productos tóxicos están contemplados por los organismos reguladores pertinentes.

5.3. Programa médico

Se basa en consultas periódicas para determinar si el trabajador es apto o no para desempeñar el trabajo asignado y asegurar que su salud no está en riesgo al estar en contacto con productos dañinos.

5.4. Seguridad de productos

La seguridad referente al manejo de los productos requiere el conocimiento de los riesgos que éstos conllevan y las medidas que hay que adoptar en caso de exposición, ya sea por ingestión, inhalación, o contacto cutáneo. Es necesario llevar a cabo estudios toxicológicos de los productos involucrados en el proceso para determinar los efectos de la exposición ya no sólo a los empleados sino también a los consumidores.

Esta información se distribuye a través de las fichas de seguridad.

5.5. Recomendaciones de seguridad

A continuación, se exponen algunas medidas a adoptar referentes a la seguridad:

- Inspecciones periódicas de los equipos.
- Conocer procedimientos de emergencia y operación.
- Formación adecuada para el personal.
- Drenar correctamente los equipos y abrir los venteos para evitar la creación de vacío.
- Utilizar los agentes de extinción correctos en función del tipo de fuego.

- Evitar acumulación de agua en las bases de los equipos.
- Adoptar las precauciones pertinentes en las proximidades de los venteos.
- Respetar valores límite de las variables de proceso.
- Realizar la toma de muestras de manera que no se comprometa la seguridad.

5.6. Manejo de equipos

5.6.1. Bombas, válvulas y tuberías

La accesibilidad para los operarios a bombas, válvulas y tuberías es esencial, ya sea desde el suelo o desde plataformas. Hay que tomar las medidas necesarias para evitar el reflujo y revisar las conexiones contra escapes, purgas, tapones y bridas para asegurar un funcionamiento correcto y evitar escapes.

5.6.2. Intercambiadores de calor

Es necesario manejar estos equipos con cuidado para evitar que se descargue la presión súbitamente a través de los tubos. Cuando se retiran los cabezales hay que asegurar que la presión en los tubos se ha equilibrado y plantear un sistema de descarga de presión a las tuberías para evitar escenarios de bloqueo.

5.6.3. Sistemas de antorcha y descarga de presión

Las descargas intencionadas de producto (purgas) se realizan cuando la presión de operación alcanza un nivel excesivo. Los sistemas de purga, ya sea a acumuladores o a antorcha deben de estar dotados de los dispositivos que aseguren su correcto funcionamiento.

5.7. Lucha contra incendios y equipos de protección

El personal debe conocer tanto la ubicación como el modo de uso de extintores, duchas de seguridad, válvulas monitorizadas, válvulas de aislamiento, mangueras contra incendios, escudos antifuegos, equipos de respiración autónomos y otros equipos de protección.

- Para fuegos eléctricos se utilizarán extintores de polvo, nunca de agua o espuma dada la probabilidad de electrocución.
- Para fuegos de aceites/hidrocarburos son adecuados los extintores de dióxido de carbono, polvo seco o espuma. Para grandes fuegos se usarán mangueras de vapor o mangueras de agua con boquilla pulverizadora.
- El uso de mascarilla antigás es obligatorio en zonas que contengan humos tóxicos.
- En zonas abiertas deberá utilizarse casco de seguridad.
- Después de su utilización, los extintores deberán ser recargados y puestos en su lugar habitual, así como las mangueras deberán recogerse en posición de uso.
- Comprobar indicios de fugas, corrosión o recalentamiento en los equipos con el fin de detectar las deficiencias antes de que puedan suponer un riesgo para la salud.
- No interrumpir escaleras de emergencia, salidas de emergencia, hidrantes y dispositivos de seguridad.
- Almacenar los residuos en los contenedores adecuados donde no supongan ningún riesgo.
- Mantener limpia el área de operación y limpiar los derrames con rapidez.
- Almacenar las botellas de gas de manera que no puedan caerse y ajustar las tapas correctamente sobre las válvulas.

5.8. Condiciones de los medios de protección

Los quipos de protección están regulados por el R.D. 1215/1997 de 18 de julio y el R.D. 773/1997 de 30 de mayo. En estos documentos se describe todo lo referente a los equipos de trabajo y equipos de protección individual para los trabajadores.

Todas las prendas y equipos individuales serán desechados cuando hayan sufrido un trato límite, independientemente del tiempo de desgate previsto o de la fecha de entrega. Cuando las prendas hayan sido sometidas a esfuerzos y hayan perdido propiedades respecto a las ofrecidas por el fabricante deben ser repuestas de inmediato.

5.8.1. Protecciones individuales

Son aquellas que protegen al trabajador de cualquier riesgo derivado de la actividad laboral.

- Cascos: para todas las personas que participen en la obra, incluidos visitantes.
- Guantes de uso general.
- Guantes de goma.
- Guantes de soldador.
- Guantes dieléctricos.
- Cinturón de seguridad de sujeción.
- Botas de agua.
- Botas de seguridad de lona.
- Botas de seguridad de cuero.
- Botas dieléctricas.
- Gafas contra impactos y antipolvo.
- Monos o buzos: se tendrán en cuenta las reposiciones a lo largo de la obra y se utilizarán de material antiestático e ignífugo.
- Trajes de agua.
- Prendas reflectantes.

5.8.2. Protecciones colectivas

Son elementos protectores colectivos más allá de procedimientos adecuados de planificación. Esto incluye señalizaciones, pasarelas, zonas de paso protegidas, iluminación adecuada…

Las protecciones colectivas previstas son:

- Topes de desplazamiento de vehículos.
- Vallas de protección.
- Redes.
- Arneses, anclajes y soportes de redes.
- Tomas de tierra para los equipos.

5.9. Prevención de riesgos para daños ocasionados a terceros

Se señalizarán correctamente los accesos a la obra y se prohibirá el paso a toda persona ajena. Se señalizarán estrictamente las áreas de trabajo confinando al personal en esos lugares.

5.10. Formación e información de seguridad y salud

La formación e información de los trabajadores es fundamental para un correcto funcionamiento de la actividad y para evitar escenarios de accidente que pongan en riesgo la salud e integridad de los mismos.

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales (PRL) obliga al empresario a gestionar la formación e información necesarias para que los trabajadores desarrollen su trabajo (Artículos 18 y 19). A cargo del empresario, todos los empleados deben estar informados del riesgo que conlleva su actividad laboral, de las conductas a observar en las maniobras y del uso correcto de las protecciones, tanto colectivas como individuales.

El personal debe estar formado en materia de utilización de medios de protección individual y colectiva, medidas de protección contra riesgos mecánicos, eléctricos y contraincendios y la utilización de los medios de primeros auxilios (maniobras de reanimación, cura de heridas…).

6. Conclusiones

A través de todo lo descrito en el presente Estudio de Seguridad y Salud quedan expuestos todos los riesgos contemplados inicialmente, así como las medidas consideradas para la correcta ejecución de las tareas que se desempeñarán en la obra.

En caso de realizar alguna modificación es obligatorio dar parte de la repercusión que ésta pueda tener en la materia de prevención contenida en el presente documento, debiéndose redactar, en caso de que fuera necesario, las modificaciones correspondientes.

Santiago de Compostela, Junio 2019

Autores del proyecto:





Julio Sequeiros Fernández

Iago Vaamonde López

7. Bibliografía

1. INECO. *Proyecto de Defensa contra Inundaciones del Rio Zaia a su paso por el Aeropuerto de Foronda en el Término Municipal de Vitoria-Gasteiz*. Documento nº 5 Estudio de Seguridad y Salud. [en línea]. [Consultado: 12 de junio de 2019]. Disponible: http://www.osalan.euskadi.eus/s94-osa0017/es/contenidos/informacion/foronda/es_def/adjuntos/Estudio_seguridad_salud.pdf
2. RD 1627/97
3. GARRIDO, M. *et al. Guía de buenas prácticas en prevención de riesgos laborales en obra civil*. [en línea]. [Consultado: 12 de junio de 2019]. Disponible: http://blog.grupotp.org/wpcontent/uploads/2014/01/GU-A-DE-BUENAS-PR-CTICAS-EN-PREVENCI-N-RIESGOSLABORALES-TODO-REV01-Marz....pdf
4. VIDAL TATO, I. *Archivos personales confidenciales*

DOCUMENTO IV
PLIEGO DE CONDICIONES

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

- PLIEGO DE CLÁUSULAS ADMINISTRATIVAS
- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

PLIEGO DE CLÁUSULAS ADMINISTRATIVAS

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

ÍNDICE

1. Condiciones generales 3
1.1. Alcance del pliego y descripción de obra 3
1.2. Naturaleza y objetivo del pliego de condiciones 3
1.3. Documentos que definen las obras 3
1.4. Documentos de obra 4
1.4.1. Forma y dimensiones 4
1.4.2. Contradicciones, omisiones o errores 4
1.4.3. Condiciones generales de materiales y unidades de obra 4
1.5. Legislación social 5
1.6. Seguridad pública 5
1.7. Reglamento civil (código ciivil) 5
2. Condiciones facultativas 5
2.1. Propiedad o propietario 5
2.2. Dirección facultativa 6
2.3. Contrata o contratista 6
2.3.1. Obligaciones del contratista 7
2.3.2. Gastos de cuenta del contratista 8
2.4. Entidades y laboratorios de control de calidad 9
2.5. Oficinas de obra 9
2.6. Insuficiente especificación en la documentación del proyecto 10
2.7. Trabajos no estipulados en el pliego de cláusulas administrativas 10
2.8. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto 10
2.9. Recusación por el contratista de la dirección facultativa 11
2.10. Despidos por falta de subordinación, incompetencia o mala fe 11
3. Obras y ejecución 11
3.1. Replanteo de la obra 11
3.2. Orden de los trabajos 12
3.3. Libro de órdenes 12
3.4. Condiciones generales de ejecución de los trabajos 12
3.5. Ampliación de proyecto por causas imprevistas 13
3.6. Prórrogas por causa de fuerza mayor 13
3.7. Trabajos defectuosos 13
3.8. Modificación de trabajos defectuosos 13
3.9. Maquinaria 14
3.10. Ensayos 14

3.11. Materiales no utilizados 14
3.12. Materiales defectuosos 14
3.13. Acopios 15
3.14. Medios auxiliares 15
3.15. Acta de recepción 15
3.16. Documentación final 16
3.16.1. Documentación de seguimiento de la obra 16
3.16.2. Documentación de control de obra 16
3.16.3. Documentación de seguimiento de la obra 17
3.17. Medición definitiva de las obras 17
3.18. Recepción definitiva de las obras 18
3.19. Plazo de garantía 18
3.20. Prórroga del plazo de garantía 19
4. Condiciones de índole económico 19
4.1. Base fundamental 19
4.2. Garantía 19
4.3. Fianza 19
4.4. Precios unitarios 20
4.5. Descomposición de los precios unitarios 20
4.5.1. Tipos de Costes 20
4.5.2. Materiales 21
4.5.3. Mano de obra 21
4.5.4. Transporte de materiales 22
4.5.5. Tanto por ciento (%) de medios auxiliares y de seguridad 22
4.5.6. Tanto por ciento (%) de seguros y cargas fiscales 22
4.5.7. Tanto por ciento (%) de gastos generales y fiscales 22
4.5.8. Tanto por ciento (%) de beneficio industrial del contratista 22
4.6. Valoración y abono de los trabajos 22
4.6.1. Valoración de la obra 22
4.6.2. Abono de las obras 22
4.6.3. Abono de trabajos presupuestados por partida alzada 23
4.6.4. Abono de otros trabajos no contratados 24
4.6.5. Abono de trabajos ejecutados en el período de garantía 24
4.6.6. Obras no terminadas 24
4.7. Certificaciones 24
4.8. Penalización económica al contratista por el incumplimiento de compromisos 25

1. Condiciones generales

1.1. Alcance del pliego y descripción de obra

El presente Pliego de Condiciones constituye el conjunto de instrucciones, normas, prescripciones y especificaciones que definirán todos los requerimientos que serán de aplicación en el proceso de ejecución de la obra de la unidad de oligomerización en el C.I de A Coruña.

Todos los documentos presentados en este proyecto incluyendo Memoria, Planos y Presupuestos se considerarán suscritos a las condiciones de este pliego para todo el proceso de ejecución de la obra. Estos documentos, además de la descripción de la obra, contienen las especificaciones de los materiales, instrucciones de ejecución, medición y abono de las unidades de estas obras, tratándose de la norma a respetar en todo momento por el Adjudicatario de la obra.

1.2. Naturaleza y objetivo del pliego de condiciones

Este pliego de condiciones está compuesto por un conjunto de artículos y cláusulas aplicables al desarrollo de las obras cuyo objetivo es la correcta regulación de las obras e instalaciones incluidas en el proyecto, estableciendo niveles técnicos y de calidad, con especificación de actuaciones que sigan el contrato y sometidas a la legislación aplicable.

El pliego de condiciones es el documento más importante desde un punto de vista contractual. El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones. A su vez, la tarea administrativa también podrá solicitar el seguimiento de forma detallada de las diferentes etapas de ejecución de la obra.

1.3. Documentos que definen las obras

Los documentos entregados al contratista son los que definen las obras, pudiendo clasificarse de carácter contractual o meramente informativo. Los documentos de carácter contractual incluyen los planos y el pliego de condiciones. Los documentos de carácter informativo son los restantes.

En caso de existir alguna contradicción a lo largo del proyecto entre la especificación literal y la información gráfica, prevalente la especificación literal. En los planos, la cota prevalece sobre al escala.

1.4. Documentos de obra

Durante la ejecución de la obra, será de carácter obligatorio la presenta de un ejemplar completo del proyecto, así como todas las disposiciones legales vigentes a las que se hagan referencia a lo largo de él.

1.4.1. Forma y dimensiones

La forma y dimensiones de las partes y materiales a utilizar se ajustarán a lo establecido y detallado en los planos, especificaciones y mediciones adjuntos al presente proyecto, existiendo la posibilidad de modificación según requerimientos necesarios a pie de obra y siempre dictados por el Ingeniero-Director.

1.4.2. Contradicciones, omisiones o errores

Las contradicciones, omisiones, errores o especificaciones insuficientemente definidas, serán replanteadas por el Ingeniero-Director de las Obras, quien asimismo autorizará las modificaciones o detalles pertinentes a su juicio y hasta el alcance de su competencia durante la ejecución de la obra.

En el caso de contradicción entre Planos y Pliego de Condiciones, prevalecerá lo especificado en el Pliego de Condiciones, salvo que el Ingeniero-Director indique lo contrario. En caso de información incluida en el Pliego de Condiciones y omitida en los Planos, habrá de ser aceptado como si se incluyese en ambos documentos.

Los diferentes capítulos del Pliego de Condiciones son complementarios entre sí, entendiéndose que las prescripciones presentes en un capítulo con afectación a otro capítulo, son de aplicación general. Las contradicciones o dudas entre especificaciones se resolverán a juicio razonado del Ingeniero-Director.

Todas las contradicciones, omisiones o errores advertidos en los documentos sujetos a modificaciones, tanto por el Ingeniero-Director como el Adjudicatario de la obra, deberán ser reflejadas en el Acta de Replanteo.

1.4.3. Condiciones generales de materiales y unidades de obra

Además de las presentes condiciones en el Pliego de Cláusulas Administrativas, los materiales y mano de obra deberán satisfacer las condiciones detalladas en el Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.

Todos los materiales que entren en la formación de la obra y para los cuales existan disposiciones oficiales que reglamenten la recepción, transporte, manipulación o empleo deberán satisfacer los requerimientos legales que estén en vigor en el período temporal de ejecución de las obras.

1.5. Legislación social

El contratista estará obligado al rígido cumplimiento de toda la legislación en materia de Reglamentación del Trabajo correspondiente, y de las demás disposiciones que regulan las relaciones entre patronos y obreros, los accidentes de trabajo, e incluso la contratación del seguro obligatorio, y todas aquellas de carácter social en vigencia o en lo sucesivo se apliquen.

1.6. Seguridad pública

El contratista que resultase adjudicatario debe tomar las máximas precauciones en operaciones y uso de materiales, equipos, etc., con el objetivo de maximizar la protección de las personas y animales de peligros procedentes del trabajo, siendo suyas las responsabilidades derivadas de tales acciones y omisiones.

1.7. Reglamento civil (código ciivil)

Todas las personas naturales y jurídicas, españolas o extranjeras, con capacidad para contratar, podrán participar en el procedimiento de acuerdo a las normas contenidas en el Código Civil.

2. Condiciones facultativas

2.1. Propiedad o propietario

Se denomina “Propiedad” o “Propietario” a la entidad, física o jurídica, pública o privada que, individual o colectivamente, impulsa, programa, financia y encarga la redacción y ejecución de las obras del presente proyecto. Se atendrá a las siguientes obligaciones:

- Ostentar, sobre el solar o ubicación física, la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él
- Nombrar a los técnicos proyectistas y directores de obra y de la ejecución material
- Contratar al técnico redactor del Estudio de Seguridad y Salud y al Coordinador en obra y en proyecto si fuera necesario
- Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto y autorizar al director de obra las posteriores modificaciones del mismo

- Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones administrativas, así como suscribir el acta de recepción de la obra
- Durante la ejecución de las obras no podrá dar órdenes directas al contratista o personal subalterno. En todo caso, dichas órdenes serán transmitidas a través de la Dirección Facultativa
- Una vez terminadas y entregadas las obras, la propiedad no podrá llevar a cabo modificaciones en las mismas sin la autorización del ingeniero autor del proyecto

2.2. Dirección facultativa

La Dirección facultativa de las obras recaerá sobre un ingeniero técnico o superior nombrado por la propiedad en su representación, quien será responsable de las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente proyecto. Las funciones del Ingeniero-Director serán las siguientes:

- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Asumir personalmente bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, por lo cual, el contratista deberá poner a su disposición el personal y el material de la obra.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforme a las normas legales establecidas.

El Director de Obra no será el responsable de la tardanza de los organismos competentes en la tramitación del proyecto. Una vez conseguidos todos los permisos, autorizará el inicio de la obra.

2.3. Contrata o contratista

El contratista será aquella entidad o persona jurídica que reciba el cargo de ejecutar las obras del presente proyecto, con los medios humanos y materiales suficientes, propios o ajenos, dentro del plazo acordado y con sujeción estricta al proyecto técnico que las define, al contrato y a la legislación aplicable vigente. El contratista debe tener la capacitación profesional necesaria

para el cumplimiento de su cometido como constructor y haber examinado toda la documentación del presente proyecto para establecer una evaluación económica de los trabajos, estando conforme con ella.

ANTES DEL INICIO DE LAS OBRAS, el contratista manifestará que la documentación aportada re resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada.

El contratista podrá ser representado por un delegado previamente aceptado por la Dirección Facultativa cuando sea necesaria su actuación o presencia. Este delegado tendrá capacidad para:

- Organizar la ejecución de los trabajos y poner en práctica las órdenes del Ingeniero-Director
- Proponer a la Dirección Facultativa colaborar en la resolución del los problemas que se planteen en la ejecución de los trabajos

El delegado del contratista tendrá la titulación profesional mínima exigida por el Ingeniero-Director, y podrá exigir también que el contratista designe al personal facultativo necesario bajo la dependencia de su técnico delegado. El incumplimiento de esta obligación o la falta de cualificación por parte del personal, facultará al Ingeniero-Director para ordenar la paralización de la obra hasta que se subsane dicha deficiencia. El Ingeniero-Director también podrá recabar del contratista la designación de un nuevo delegado y cualquier facultativo que de él dependa, cuando así sea justificable por su actuación y trabajos a realizar.

2.3.1. Obligaciones del contratista

Serán obligaciones del contratista:

- La ejecución de las obras alcanzando la calidad exigida en el proyecto, cumpliendo con los plazos establecidos en el contrato y con la legislación aplicable
- Asignar a la obra los medios humanos y materiales correctos
- Designar al Jefe de obra, que asumirá la representación técnica del contratista y permanecerá en la obra durante la totalidad de la jornada legal de trabajo con plena dedicación. Éste deberá contar con la capacitación profesional adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra, y deberá cumplir obligaciones de la Dirección Facultativa, custodiando y firmando el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, así como los libros de Seguridad y Salud y el del Control de Calidad; así como asegurarse de la correcta instalación de los medios auxiliares y realizar otras operaciones técnicas.

- Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de obra dentro de los límites establecidos en el contrato
- Firmar el acta de replanteo y el acta de recepción de la obra
- Facilitar al Jefe de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra
- Redactar el Plan de Seguridad y Salud en la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, vigilando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el trabajo. Este documento será presentado para la aprobación del Ingeniero-Director.
- Designar al coordinador de Seguridad y Salud en la obra entre su personal técnico cualificado con presencia permanente en la obra, el cual velará por el estricto cumplimiento de las medidas de seguridad y salud según la normativa vigente y el Plan de Seguridad y Salud.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en la obra y rechazando los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- Suscribir con la Propiedad las actas de recepción provisional y definitiva.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.

El contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra, bajo su responsabilidad, previo consentimiento del propietario y de la Dirección Facultativa.

El propietario podrá introducir otros constructores o instaladores además de los del contratista, para que trabajan de forma simultánea con ellos en las obras, siempre bajo las instrucciones de la Dirección Facultativa.

El contratista tendrá a su disposición el proyecto de Control de Calidad en el que se especifican las características y requisitos que deberán cumplir los materiales y unidades de obra, y los criterios para la recepción de materiales.

2.3.2. Gastos de cuenta del contratista

Serán de cuenta del contratista, siempre que en el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes gastos:

- Gastos de construcción y retirada de todo tipo de construcciones auxiliares.

- Gastos de alquiler y adquisición de terreno para depósito de maquinaria y materiales.
- Gastos de limpieza, de suministros, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad en las obras.
- Gastos de montaje, conservación, y retiradas de instalaciones para el suministro de agua y energía eléctrica para las obras.
- Gastos de corrección o retirada de materiales, y de los correspondientes ensayos y pruebas.

2.4. Entidades y laboratorios de control de calidad

Las entidades de control y calidad de la edificación prestarán asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, materiales, ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo a lo especificado en el proyecto y la normativa vigente. La asistencia técnica se realizará mediante ensayos y/o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra.

2.5. Oficinas de obra

El contratista habilitará en la propia obra una oficina, local o habitáculo, convenientemente acondicionado para el correcto desempeño del trabajo a cualquier hora de la jornada, que contendrá como mínimo una mesa y tableros donde se expongan los planos correspondientes del proyecto y de la obra que sucesivamente vayan siendo asignados por al Dirección Facultativa, así como los documentos que se estimen convenientes por Dirección.

En la oficina deberán estar, como mínimo, los siguientes documentos:

El proyecto de ejecución, incluidos los complementos y anexos que redacte el ingeniero.

- La licencia de obras.
- El libro de órdenes y asistencias.
- El Plan de Seguridad y Salud.
- El libro de incidencias.
- El proyecto de Control de Calidad y su libro de registro, si existiese.
- La legislación vigente conforme a la seguridad y salud en el trabajo.
- La documentación y los seguros mencionados en el artículo 2.3.

Durante la jornada de trabajo, el contratista o sus facultativos, representantes o encargados estarán en la obra, y acompañará al Ingeniero-Director y a sus representantes en las visitas a la obra, incluso a las fábricas o talleres donde se realicen trabajos para la obra, poniéndose a su

disposición para la práctica de los reconocimientos necesarios, acompañados de datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

2.6. Insuficiente especificación en la documentación del proyecto

Si alguna parte de la obra no quedara suficientemente especificada en esta documentación, a juicio del contratista o de la propiedad, no se ejecutará hasta que la Dirección Facultativa diera las indicaciones precisas y concretas para su ejecución. Este extremo se advertirá a la citada dirección por escrito, con antelación suficiente para que pueda ser estudiado el problema y aportar la solución más acertada sin que ello suponga un retraso en la marcha de la obra. El tiempo de antelación variará con la importancia del estudio, siendo el mínimo de una semana.

2.7. Trabajos no estipulados en el pliego de cláusulas administrativas

Es obligación del contratista el ejecutar, cuando sea posible y lo crea conveniente, aun cuando no se halle expresamente estipulado en el presente pliego, siempre sin separarse de su recta interpretación, lo que disponga el Ingeniero-Director y esté dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos determinen para cada unidad de obra, y tipo de ejecución.

Se entenderá por reformado de proyecto toda variación que suponga incremento de precios de alguna unidad de obra en más del 20 por 100 o del total del presupuesto en más de un 10 por 100.

2.8. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto

Cuando se trata de aclarar, interpretar o modificar preceptos del Pliego de Cláusulas Administrativas o indicaciones de planos, croquis y esquemas de montaje, las órdenes o instrucciones correspondientes se comunicarán por documento oficial escrito al contratista, estando éste obligado a devolver los originales o las copias, suscribiendo con su firma el "enterado", que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciban, tanto de los encargados de la vigilancia de las obras como del Ingeniero-Director.

Cualquier reclamación que crea oportuno hacer el contratista en contra de las disposiciones tomadas por éstos, habrá de dirigirla, dentro del plazo de cinco (5) días, al inmediato técnico superior que la hubiera dictado, el cual dará al contratista el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

2.9. Recusación por el contratista de la dirección facultativa

El contratista no podrá recusar al Ingeniero-Director o persona de cualquier índole de la Dirección Facultativa o de la propiedad encargada de la vigilancia de las obras, ni solicitar que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los trabajos de reconocimiento y mediciones.

2.10. Despidos por falta de subordinación, incompetencia o mala fe

En los supuestos de falta de respeto y/o de desobediencia al Ingeniero-Director, a sus subalternos de cualquier clase, encargados de la vigilancia de obras, por manifiesta incapacidad, incompetencia o negligencia grave que comprometan y/o perturben la marcha de los trabajos, éste podrá requerir del contratista para apartar e incluso despedir de la obra a sus dependientes u operarios, cuando el Ingeniero-Director lo estime necesario.

3. Obras y ejecución

3.1. Replanteo de la obra

En el plazo de quince (15) días a partir de la adjudicación definitiva se comprobarán, en presencia del adjudicatario o de su representante, el replanteo de las obras efectuadas antes de su licitación, extendiéndose por duplicado la correspondiente acta de replanteo firmada por el Ingeniero-Director y por el contratista o su representante.

El acta de comprobación del replanteo reflejará la conformidad o no del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto. Cuando ésta refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato. En caso de que este plazo no se encuentre especificado en el contrato, se considerará el existente en el Plan de Seguridad y Salud, o en su defecto en la memoria descriptiva del presente proyecto.

La comprobación del replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstos para poder materializar las obras, así como puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y otros elementos que puedan estimarse precisos.

El contratista se responsabilizará de la conservación de las señales de los puntos que hayan sido integrados. También dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Pliego de Condiciones Particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para cumplir el plazo exigido en el contrato. Obligatoriamente y por escrito, el contratista deberá dar cuenta al Ingeniero-Director del comienzo de los trabajos al menos con tres (3) días de antelación.

3.2. Orden de los trabajos

La determinación del orden de los trabajos es facultad del contratista, salvo en casos en que, por circunstancias de orden técnico la Dirección Facultativa estime conveniente su variación.

Dentro de los quince (15) días siguientes a la fecha en que se notifique la adjudicación definitiva de las obras, el contratista deberá presentar inexcusablemente al Ingeniero-Director un Programa de Trabajos en el que se especificarán los plazos parciales y fechas de terminación de las distintas clases de obras. El Ingeniero-Director podrá establecer las variaciones que estime oportunas por circunstancias de orden técnico o facultativo, comunicándolas al contratista y siendo éstas de obligado cumplimiento.

El citado Programa de Trabajo, una vez aprobado por el Ingeniero-Director, tendrá carácter de compromiso formal en cuanto al cumplimiento de los plazos parciales establecidos.

En ningún caso se permitirá que el plazo total fijado para la terminación de las obras sea objeto de variación, salvo casos de fuerza mayor.

3.3. Libro de órdenes

El contratista tendrá siempre en la oficina de obra y a disposición del Ingeniero-Director un "Libro de Ordenes y Asistencia", son sus hojas foliadas por duplicado, en el que se redactará las que crea oportunas para que se adopten las medidas precisas que eviten en lo posible los accidentes de todo género que puedan sufrir los operarios, los viandantes en general, las fincas colindantes y/o los inquilinos en las obras de reforma que se efectúen en edificaciones habitadas, así como las que crea necesarias para subsanar o corregir las posibles deficiencias constructivas que haya observado en las diferentes visitas a la obra, y en suma, todas las que juzgue indispensables para que los trabajos se lleven a cabo correctamente y de acuerdo, en armonía con los documentos del proyecto.

Cada orden deberá ser extendida y firmada por el Ingeniero-Director y el "Enterado" suscrito con la firma del contratista o de su encargado en la obra. La copia de cada orden extendida en el folio duplicado quedará en poder del Ingeniero-Director. El hecho de que el citado libro no figuren redactadas las órdenes que preceptivamente tiene la obligación de cumplimentar el contratista, no supone eximente o atenuante alguna para las responsabilidades que sean inherentes al contratista.

3.4. Condiciones generales de ejecución de los trabajos

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al proyecto que haya servido de base al contratista, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las

órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad entregue el Ingeniero-Director al contratista siempre que éstas encajen en la cifra a la que ascienden los presupuestos aprobados.

3.5. Ampliación de proyecto por causas imprevistas

Cuando sea preciso por motivo imprevisto ampliar el proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones facilitadas por el Ingeniero-Director en tanto se formulan o se tramita el proyecto reformado.

El contratista está obligado a realizar con cargo a su propio personal y con sus materiales, cuando la Dirección de las Obras disponga los apuntalamientos, apeos, o cualquier obra de carácter urgente, anticipando este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, según lo que mutuamente convengan.

3.6. Prórrogas por causa de fuerza mayor

Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del contratista, no pudiese comenzar las obras, tuviese que suspenderlas, o no fuera capaz de terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prorroga proporcionada para el cumplimiento del contratista, previo informe favorable del Ingeniero-Director, tras haber leído la causa del impedimento de la ejecución o marcha de los trabajos y el retraso que originará por escrito del contratista, razonando debidamente la prorroga que por dicha causa solicita.

El contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se le hubiesen proporcionado.

3.7. Trabajos defectuosos

Hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las posibles faltas o defectos que en estos puedan existir por su mala ejecución, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

3.8. Modificación de trabajos defectuosos

Cuando el Ingeniero-Director advierta vicios o defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales empleados o los equipos y aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos, y antes de

verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas del contratista.

3.9. Maquinaria

El contratista quedará obligado a situar en la obra los equipos de la maquinaria que se comprometan a aportar licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de la ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del Ingeniero-Director.

3.10. Ensayos

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obras terminadas, será fijado por el Ingeniero-Director, y se efectuarán con arreglo a las normas aplicables a cada unidad de obra, o, en su defecto, con arreglo a las instrucciones que dicte el Ingeniero-Director.

3.11. Materiales no utilizados

El contratista transportará y colocará los materiales y escombros que no sean utilizables en la obra, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado designado. Queda también obligado a retirar los escombros ocasionados, trasladándolos al vertedero o gestor de residuos autorizado.

3.12. Materiales defectuosos

Cuando los materiales, equipos, aparatos y/o elementos de las instalaciones resultan defectuosos, el Ingeniero-Director dará orden al contratista para que los sustituya por otros que satisfagan las condiciones establecidas. Si a los quince (15) días de recibir dicha orden ésta no hubiese sido cumplida, podrá hacerlo el propietario cargando los gastos al contratista.

Si los materiales, elementos de instalaciones, equipos y/o aparatos fueran de calidad inferior pero no defectuosos, y aceptables a juicio del Ingeniero-Director, se recibirán pero con la correspondiente rebaja del precio que se determine, a no ser que el contratista pudiera sustituirlos por otros en condiciones.

3.13. Acopios

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales sobre la plataforma de obra y en aquellas zonas marginales que defina el director. Se considera especialmente prohibido el depositar materiales, herramientas, maquinaria, escombros o cualquier otro elemento no deseable en cualquier lugar en el que la presencia de dichos elementos pueda entorpecer las labores de mantenimiento y operación de las unidades de proceso, o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.

Los materiales se almacenarán de forma que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de su utilización.

Las superficies empleadas en la zona de acopios deberán acondicionarse para que recuperen su aspecto original una vez terminada su utilización. Los gastos que de ello se deriven correrán por cuenta del contratista.

3.14. Medios auxiliares

Serán de cuenta y riesgo del contratista los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para preservar la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, de manera que el propietario no tenga responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

3.15. Acta de recepción

La recepción de la obra es el acto por el cual el contratista, una vez concluida ésta, hace entrega de la misma al propietario y es aceptada por éste. Podrá realizarse con o sin reservas y deberá abarcar la totalidad de la obra o fases completas y terminadas de la misma, cuando así se acuerde por las partes.

La recepción deberá consignarse en un acta firmada, al menos, por el propietario y el contratista, y en la misma se hará constar:

- Las partes que intervienen
- La fecha del certificado final de la totalidad de la obra o fase completa ya terminada de la misma
- El coste final de ejecución material de la obra
- La declaración de la recepción de la obra con o sin reservas, especificando, en su caso, éstas de manera objetiva, y el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. Una vez subsanados, habrá que constar en un acta aparte, suscrita por los firmantes de la recepción

- Las garantías que, en su caso, se exijan al contratista para asegurar sus responsabilidades.
- Se adjuntará el certificado final de obra suscrito por el Ingeniero-Director y la documentación justificativa del control de calidad realizado, si procede.

El propietario podrá rechazar la recepción de la obra por considerar que la misma no está terminada o que no se adecua a las condiciones contractuales. El rechazo deberá ser por escrito en el acta, en la que se fijará el nuevo plazo para efectuar la recepción.

Salvo expreso de lo contrario, la recepción de la obra tendrá lugar dentro de los treinta (30) días siguientes a la fecha de su terminación, acreditada en el certificado final de la obra, plazo que se contará a partir de la notificación efectuada por escrito al promotor. En caso de que no haya respuesta del promotor en dicho periodo, la recepción se entenderá tácitamente producida.

3.16. Documentación final

El Ingeniero-Director, asistido por el contratista y los técnicos que hubieren intervenido en la obra, redactarán la documentación final de la obra, que se facilitará al propietario. Dicha documentación se adjuntará al Acta de Recepción con la relación identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento de la edificación y sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

Esta documentación constituirá el Libro del Edificio, que ha de ser encargada por el propietario, será entregada a los usuarios finales de la edificación. A su vez dicha documentación se divide en:

3.16.1. Documentación de seguimiento de la obra

La documentación de seguimiento de la obra según el Código Técnico de la Edificación (CTE) es:

- Libro de Órdenes y Asistencias.
- Libro de incidencias en materia de Seguridad y Salud.
- Proyecto con sus anexos y modificaciones debidamente autorizadas por el Ingeniero-Director de la obra.
- Licencia de obras, de apertura y, en su caso, de otras autorizaciones administrativas.

3.16.2. Documentación de control de obra

Su contenido es responsabilidad del Jefe de obra, y se compone de:

- Documentación de control, que debe responder a lo establecido en el proyecto, anexos y modificaciones

- Documentación, instrucciones de uso y mantenimiento, así como garantías de los materiales y suministros que debe ser proporcionada por el contratista.
- En su caso, documentación de calidad de las unidades de obra, preparada por el contratista y autorizada p

3.16.3. Documentación de seguimiento de la obra

Este se ajustará al modelo aprobado por el Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Industriales de España, en donde el Ingeniero-Director de la ejecución de la obra certificará haber dirigido la ejecución material de las mismas, controlado cuantitativa y cualitativamente su construcción y la calidad de lo edificado e instalado de acuerdo con el proyecto, la documentación técnica y las normas de buena construcción.

Asimismo certificará que en el desarrollo de los trabajos se han observado y cumplido todas las prescripciones técnicas de seguridad y que se han realizado todas las pruebas y ensayos previstos en los Reglamentos vigentes que afectan a las instalaciones comprendidas en el proyecto.

Al certificado final de obra se le unirán como anexos la descripción de las modificaciones que se hubiesen introducido durante la obra haciendo constar su compatibilidad con las condiciones de la licencia y la relación de los controles realizados.

3.17. Medición definitiva de las obras

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por la Dirección Facultativa a su medición general y definitiva, con precisa asistencia del contratista o un representante suyo nombrado por él o de oficio en la forma prevenida para la recepción de obras, debiendo aplicar los precios establecidos en el contrato entre las partes y levantando acta, por triplicado ejemplar, correspondientes a las mediciones parciales y finales de la obra, realizadas y firmadas por la Dirección Facultativa y el contratista, debiendo aparecer la conformidad de ambos en los documentos que la acompañan. Lo mismo en las mediciones parciales como en la final, entendiéndose que éstas comprenderán las unidades de obra realmente ejecutadas.

Todos los trabajos y unidades de obra que vayan a quedar ocultos en el edificio, una vez que se haya terminado, el contratista los pondrá en conocimiento de la Dirección Facultativa con la suficiente antelación para poder medir y tomar datos necesarios. De otro modo, se establecerán los criterios de medición que establezca la Dirección Facultativa.

Servirán de base para la medición los datos del replanteo general: los datos de los replanteos parciales, los datos de cimientos y demás partes ocultas de las obras tomadas durante la

ejecución de los trabajos con la firma del contratista y la Dirección Facultativa, la medición que se lleve a efecto de las partes descubiertas de la obra y, en general, los que convengan al procedimiento consignado en las condiciones de la Contrata para decidir el número de unidades de obra de cada clase ejecutadas; teniendo presente salvo pacto en contra lo preceptuado en los diversos capítulos del Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.

Las valoraciones de las unidades de obra se calculan multiplicando el número de unidades de obra por el precio unitario, incluidos gastos de transporte, indemnizaciones o pagos, impuestos fiscales y todo tipo de cargas sociales.

La medición y valoración realizadas por el contratista deberán ser aprobadas por la Dirección Facultativa, o por el contrario ésta deberá efectuar las observaciones convenientes de acuerdo con las mediciones y anotaciones tomadas en obra. Una vez corregidas las observaciones, la Dirección Facultativa dará su certificación firmada al contratista y al promotor.

El contratista podrá oponerse a la resolución adoptada por la Dirección Facultativa, previa comunicación a la misma. La certificación será inapelable transcurridos diez (10) días, u otro plazo pactado entre las partes, desde su envío, si la Dirección Facultativa no recibe ninguna notificación.

3.18. Recepción definitiva de las obras

Finalizado el plazo de garantía y si se encontrase en perfecto estado de uso y conservación, se dará por recibida definitivamente la obra, quedando relevado el contratista, a partir de este momento, de toda responsabilidad legal que le pudiera corresponder por la existencia de defectos visibles así como la normal conservación y mantenimiento de la edificación y de sus instalaciones, quedando solo subsistentes todas las responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la construcción.

De la recepción definitiva, se levantará un acta, firmada por triplicado por parte del propietario, el Ingeniero-Director y el contratista, que será indispensable para la devolución de la fianza depositada por éste último. Una vez recibidas definitivamente las obras, se procederá a la liquidación correspondiente que deberá quedar terminada en un plazo no superior a seis (6) meses.

3.19. Plazo de garantía

El plazo de garantía de las obras e instalaciones deberá estipularse en el contrato suscrito entre el propietario y el contratista y en ningún caso será menor a NUEVE (9) MESES. Durante este tiempo el contratista es responsable de la conservación de la obra.

Si durante el plazo de garantía el contratista no llevase a cabo las obras de conservación o reparación a que viniese obligado, estas se llevarán a cabo con cargo a la fianza o a la retención. Asimismo, hasta tanto se firme el Acta de Recepción Provisional, el contratista garantizará al propietario contra toda reclamación de terceros fundada por causas y por ocasión de la ejecución de la obra.

Una vez cumplido dicho plazo, se efectuará el reconocimiento final de las obras, y si procede su recepción definitiva.

3.20. Prórroga del plazo de garantía

Si al proceder el reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Ingeniero-Director marcará al contratista los plazos y formas en que deberían realizarse las obras necesarias, y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con pérdida de la fianza. Pliego de cláusulas administrativas

4. Condiciones de índole económico

4.1. Base fundamental

Como base fundamental o principio general de estas condiciones económicas, se establece que el contratista debe percibir, de todos los trabajos efectuados, su real importe, siempre de acuerdo con la sujeción al proyecto y a las condiciones generales y particulares que han de regir la obra.

Asimismo, el propietario, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

4.2. Garantía

La Dirección Facultativa podrá exigir al contratista la presentación de avales bancarios de otras entidades o personas, con la finalidad de cerciorarse de que éste reúne las condiciones de solvencia necesarias para el exacto cumplimiento del contrato. Dichas referencias bancarias, en caso de ser pedidas, las presentará el contratista previamente a la firma del contrato.

4.3. Fianza

El contratista deberá abonar una fianza del 5% del presupuesto de las obras adjudicadas, con vistas a responder al cumplimiento de lo contratado, esta fianza puede ser depositada mediante cheque o aval bancario.

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para terminar la obra en las condiciones contratadas, el director de obra en nombre y representación de la propiedad los ordenará ejecutar a un tercero, abonando su importe con la fianza depositada por el contratista, sin perjuicio de las acciones legales a las que tenga derecho el propietario.

La fianza depositada, o lo que quede de ella, será devuelta al contratista una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra en un plazo que no excederá de treinta (30) días, siempre que el contratista haya acreditado por medio de certificado del alcalde del municipio en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra el por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deuda de los jornales o materiales, ni por indemnización derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

4.4. Precios unitarios

Todos los materiales que intervengan en la construcción de las obras objeto de este proyecto (aún en el caso de aumento de las unidades especificadas o unidades que puedan aparecer) serán de cuenta del contratista, no admitiéndose por tanto ningún aumento por este concepto.

A efectos de propuestas y plazos, el contratista no debe contar con los suministros de terceros, comprometiéndose a construir o instalar todos los materiales o equipos necesarios para la terminación de los trabajos en el plazo señalado.

4.5. Descomposición de los precios unitarios

Será condición indispensable que, antes de comenzar todas y cada una de las unidades de obra contratadas, reciba por escrito la conformidad del Ingeniero-Director a los precios descompuestos de cada una de ellas, que el Contratista deberá presentarle, así como la lista de precios de salarios o jornales, de materiales, de costes de transportes y los porcentajes que se expresan en los subapartados del presente artículo.

El Ingeniero-Director valorará la exactitud de la justificación de los nuevos precios, tomando como base de cálculo tablas, bases de datos o informes sobre rendimiento de personal, de maquinaria, de materiales elementales, de precios auxiliares, etc. editadas por entidades profesionales de la Comunidad Autónoma con facultades para ello, de Organismos Nacionales o Internacionales de reconocida solvencia, etc., desestimando aquellos gastos imputables a la mala organización, improductividad o incompetencia de la Contrata.

4.5.1. Tipos de Costes

A estos efectos, se considerarán los siguientes tipos de costes:

Costes directos:

- La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que quedan integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- Los equipos y sistemas técnicos de seguridad y salud para la prevención de riesgos laborales y protección de accidentes y enfermedades profesionales.
- Los gastos de personal, de combustible, de energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistema y equipos anteriormente citados

Costes indirectos:

- Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, de comunicaciones, de edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, comedores, laboratorios, seguros, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos, evaluándose todos ellos en un porcentaje de los costes directos.

Gastos generales:

- Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidas. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos.

A falta de convenio especial, los precios unitarios se descompondrán preceptivamente como sigue:

4.5.2. Materiales

Cada unidad de obra que se precise de cada uno de ellos, y su precio unitario respectivo de origen.

4.5.3. Mano de obra

Por categorías dentro de cada oficio, expresando el número de horas invertido por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra, y los jornales horarios correspondientes.

4.5.4. Transporte de materiales

Sobre la suma de los conceptos anteriores en las unidades de obra que los precisen.

4.5.5. Tanto por ciento (%) de medios auxiliares y de seguridad

Sobre la suma de los conceptos anteriores en las unidades de obra que los precisen.

4.5.6. Tanto por ciento (%) de seguros y cargas fiscales

Vigentes sobre el importe de la mano de obra, especificando en documento aparte la cuantía de cada concepto del seguro, y de la carga.

4.5.7. Tanto por ciento (%) de gastos generales y fiscales

Sobre la suma de los conceptos correspondientes a los apartados de materiales y mano de obra.

4.5.8. Tanto por ciento (%) de beneficio industrial del contratista

Aplicado la suma total de los conceptos correspondientes a materiales, mano de obra, transportes de materiales, y los tantos por ciento aplicados en concepto de medios auxiliares y de seguridad y de Seguros y Cargas fiscales.

El Contratista deberá asimismo presentar una lista con los precios de jornales, de los materiales de origen, del transporte, los tantos por ciento que imputa cada uno de los Seguros, y las Cargas Sociales vigentes, y los conceptos y cuantías de las partidas que se incluyen en el concepto de Gastos Generales, todo ello referido a la fecha de la firma del contrato.

4.6. Valoración y abono de los trabajos

4.6.1. Valoración de la obra

La medición de la obra se hará por el tipo de unidad fijada en el correspondiente presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra el precio que tuviesen asignado en el presupuesto, añadiendo a este importe el de tantos por ciento que corresponda al beneficio industrial.

Las valoraciones se realizarán mensualmente. Las llevará a cabo director de la obra en presencia del contratista. De dicho acto se levantará un acta por duplicado, que se firmará por ambas partes.

4.6.2. Abono de las obras

El abono de los trabajos ejecutados se efectuará previa medición periódica (según intervalo de tiempo que acordado) y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutada (tanto en las certificaciones como en la liquidación final) al precio invariable estipulado de antemano para

cada una de ellas, siempre y cuando se hayan realizado con sujeción a los documentos que constituyen el proyecto o bien siguiendo órdenes que, por escrito, haya entregado el Ingeniero-Director.

Según la modalidad elegida para la contratación de las obras y salvo que en el contrato suscrito entre el Contratista y el Propietario se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos de forma predeterminada se efectuará así:

- Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación.
- Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas. Se abonará al contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el proyecto.
- Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del Arquitecto-Director. Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.
- Por listas de salarios o jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el contrato suscrito entre el Contratista y la Propiedad determina.
- Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el contrato.

4.6.3. Abono de trabajos presupuestados por partida alzada

Las partidas alzadas, una vez ejecutadas, se medirán en unidades de obra y se abonarán a la contrata. Si los precios de una o más unidades de obra no están establecidos, se considerarán como si fuesen contradictorios.

Salvo lo estipulado en el contrato entre el Contratista y la Propiedad, el abono de los trabajos presupuestados por partida alzada se efectuará de acuerdo con un procedimiento de entre los que a continuación se expresan:

- En caso de existencia de precios contratados para unidades de obra iguales o semejantes, las presupuestadas mediante partida alzada se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido
- Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios para las unidades con partida alzada, deducidos de los similares contratos. En caso contrario, la partida alzada se abonará íntegramente al contratista, excepto en el caso de que en el presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso el Ingeniero-Director indicará al contratista y con anterioridad

a su ejecución, el procedimiento que debe seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el tanto por ciento correspondiente al Beneficio Industrial del contratista.

4.6.4. Abono de otros trabajos no contratados

Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones y otra clase de trabajos de cualquiera índole especial y ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por el propietario por separado de la Contrata.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará juntamente con ellos el tanto por ciento del importe total que, en su caso, se especifique en el Pliego de Condiciones Particulares.

4.6.5. Abono de trabajos ejecutados en el período de garantía

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá de la siguiente forma:

- Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el contratista a su debido tiempo; y el Ingeniero-Director exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los "Pliegos Particulares" o en su defecto en los Generales, en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización; en caso contrario, se aplicarán estos últimos.
- Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al contratista.

4.6.6. Obras no terminadas

Las obras no terminadas o incompletas no se abonarán o se abonaran en la parte en que se encuentren ejecutadas, según el criterio establecido por la Dirección Facultativa.

4.7. Certificaciones

El Contratista tomará las disposiciones necesarias, para que periódicamente, según el intervalo de tiempo acordado en el contrato, lleguen a conocimiento del Ingeniero-Director las unidades

de obra realizadas previa medición, quien tendrá la facultad de revisarlas sobre el propio terreno, al cual le facilita aquel, cuantos medios sean indispensables para llevar a buen término su cometido.

Lo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderada o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios unitarios aprobados y extenderá la correspondiente certificación, teniendo presente además lo establecido en el presente Pliego de Condiciones respecto a mejoras o sustituciones de material y a las obras accesorias y especiales.

4.8. Penalización económica al contratista por el incumplimiento de compromisos

Si el contratista incumpliera con los plazos de ejecución de las obras estipuladas en el contrato de adjudicación, y no justificara debidamente a juicio de la Dirección Técnica la dilación, el propietario podrá imponer las penalizaciones económicas acordadas.

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un porcentaje (tanto por mil) del importe total de los trabajos contratados o cantidad fija con cargo a la fianza, sin perjuicio de las acciones legales que en tal sentido correspondan. Dicha indemnización, que deberá indicarse en el contrato suscrito entre contratista y el propietario. En el caso de no haberse estipulado en el contrato el plazo de ejecución de las obras, se entenderá como tal el que figura como suficiente en la memoria del proyecto.

Si tampoco se hubiera especificado la cuantía de las penalizaciones, las indemnizaciones por retraso en la terminación de las obras, se aplicarán por lo que esté estipulado a tal efecto en cualquiera de los siguientes casos, siendo el importe resultante descontado con cargo a las certificaciones o a la fianza.

- Una cantidad fija durante el tiempo de retraso (por día natural, semana, mes, etc.) desde el día fijado para su terminación en el calendario de obra o en el contrato.
- El importe de los alquileres que el propietario dejase de percibir durante el plazo de retraso en la entrega de las obras, en las condiciones exigidas, siempre que se demostrase que los locales diversos están alquilados.
- El importe de la suma de perjuicios materiales causados por la imposibilidad de ocupación del inmueble, previamente fijados.
- El abono de un tanto por ciento anual sobre el importe del capital desembolsado a la terminación del plazo fijado y durante el tiempo que dure el retraso. La cuantía y el

procedimiento para fijar el importe de la indemnización, entre los anteriores especificados, se convendrá expresamente entre ambas partes contratantes, previa a la firma del contrato.

Santiago de Compostela, Junio 2019

Autores del proyecto:





Julio Sequeiros Fernández

Iago Vaamonde López

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

Planta de oligomerización de butano olefínico

ÍNDICE

1. Maquinaria y equipo 3
1.1. Condiciones generales 3
1.2. Mantenimiento y garantía 3
1.3. Materiales 4
1.3.1. Accesorios 4
1.3.2. Soportes 4
1.3.3. Recipientes a presión 4
1.4. Condiciones de ejecución y montaje 4
1.4.1. Tuberías y accesorios 5
1.4.1.1. Uniones 5
1.4.1.2. Interferencias de trazado y curvado 5
1.4.1.3. Soldadura 5
1.4.1.4. Pruebas de estanquidad y de presión 7
1.4.2. Soportes y estructuras 7
1.4.2.1. Diseño de materiales y fabricación 7
1.4.2.2. Uniones soldadas 8
1.5. Control de calidad 8
1.6. Seguridad y señalización 8
1.7. Condiciones de puesta en marcha 9
1.7.1. Bombas 9
1.7.2. Elementos de control, de regulación y de medida 9
1.8. Mediciones y valoración 10
2. Electricidad 10
2.1. Instalación eléctrica 10
2.2. Motores 10

2.3. Cableado 10

2.4. Herramientas 11

2.4.1. Cuadros de distribución 11

2.4.2. Instalaciones de fuerza y alumbrado 11

3. Condiciones de los materiales 11

3.1. Condiciones generales 11

3.2. Condiciones que han de cumplir los materiales 11

3.2.1. Aceros 11

3.2.2. Materiales para hormigones y morteros 12

3.2.3. Materiales no especificados en el pliego 13

1. Maquinaria y equipo

Los equipos y maquinaria a emplear presentarán y cumplirán con la normativa vigente que les sea aplicable de la Dirección Provincial de Industria o el departamento correspondiente, presentando buen estado de conservación, y no representando un peligro para ningún trabajador o a terceros.

No se señalan características constructivas de los equipos que están determinados por marca y modelo, ya que se trata de unidades de fabricación normalizada.

Se admitirán otras marcas y modelos que los fijados en el proyecto siempre a juicio del contratista, debiendo elegir otros de igual o mejor calidad.

1.1. Condiciones generales

Las prestaciones del Adjudicatario requeridas en esta especificación comprenden los siguientes conceptos:

- Suministro de equipos, con aportación del material de fijación, abarcones, tortillería, juntas y accesorios necesarios para un correcto montaje y funcionamiento. Se incluyen también todos los elementos necesarios para movilización de materiales en obra, grúas, andamios, elementos de acceso, equipos auxiliares y protección.
- Pruebas de presión y estanqueidad
- Revisión y puesta en servicio
- Confección del Proyecto *as built* de todos los tramos, incluyendo los trazados isométricos, planos y detalles.
- Tramitación de los permisos necesarios

1.2. Mantenimiento y garantía

La empresa adjudicataria podrá por el periodo de tiempo de un (1) año el correcto funcionamiento de todos los dispositivos e instalaciones del sistema por causas derivadas de defectos de los materiales.

Independientemente de esta garantía, la empresa adjudicataria podrá, a la entrega de la instalación, suscribir una contrato de mantenimiento, por lo que en la presentación de la oferta deberá describir y evaluar su propuesta de mantenimiento así como la lista de repuestos que considere necesarios para el tiempo estimado de la garantía.

1.3. Materiales

Las especificaciones para los materiales objeto del pliego, salvo contraindicación de los planos, se indican a continuación.

1.3.1. Accesorios

Los accesorios, codos, tés, reducciones, etc. estarán diseñados según la norma DIN correspondiente, teniendo en cuenta las necesidades de trazado en cada caso.

1.3.2. Soportes

Podrán emplearse soportes normalizados de fabricación estándar cuando las condiciones de montaje lo permitan. En los demás casos los soportes se construirán in situ utilizando perfiles de doble T de ala ancha.

Las tuberías aéreas o en galerías se soportarán como máximo cada 8 m para diámetros superiores a 4" de diámetro, serán de redondo de acero al carbono con puntas, según la norma DIN correspondiente.

1.3.3. Recipientes a presión

Los recipientes a presión cumplirán el Reglamento de Aparatos a Presión, tanto en su acotamiento como en su montaje y operación.

1.4. Condiciones de ejecución y montaje

Todos los equipos, tuberías, conductos, etc. se montarán, suspenderán o fijarán en bancadas y soportes según se requiera en la obra. El contratista será responsable de coordinar la utilización de soportes comunes con otros oficios y presentará a la Dirección Técnica los diseños y datos de los sistemas a emplear para la sustentación, demostrando que son adecuados para los pesos, esfuerzos y trabajos que deben soportar, en forma de planos de taller.

Los equipos deberán montarse en espacios asignados en el proyecto. Se deberá verificar el espacio requerido para el equipo propuesto, haya sido o no especificado anteriormente.

Válvulas, motores, controles, aparatos, etc. se instalarán de forma que sean fácilmente accesibles para su manejo, reparación, limpieza y sustitución. Y las conexiones de aparatos o equipos a las redes de tuberías se harán de forma que no exista interacción mecánica y sin transmitir al equipo ningún esfuerzo mecánico a través de la conexión procedente de la tubería.

Durante la instalación de la maquinaria, se protegerán debidamente todos los aparatos y accesorios, colocando tapones o cubiertas en las tuberías que vayan a quedar abiertos durante cierto tiempo.

Una vez terminado el montaje se procederá a la limpieza de todos los equipos, tanto interior como exterior.

1.4.1. Tuberías y accesorios

1.4.1.1. Uniones

Las uniones de tuberías se realizarán mediante soldadura a tope o a rosca, según se indique. Los accesorios, codos, tés, reducciones etc. se unirán también por medio de soldadura a tope. Las conexiones a válvulas se harán con bridas de cuello según normas ANSI y las uniones de montaje/desmontaje con bridas de cuello según normas DIN.

No se admitirá calentamiento de la tubería que sirva para remediar sobre obra efectos de alineación. No se admitirán en los tubos:

- Grietas o pliegues de laminado.
- Abolladuras.
- Las rayas, corrosiones que puedan atacar la resistencia mecánica del tubo.
- Todos los codos, tés, válvulas, tubos, etc., deberán estar colocados de forma que se puedan desmontar.
- En todos los puntos se podrán apretar o soldar los tornillos de bridas, juntas etc., con facilidad.

1.4.1.2. Interferencias de trazado y curvado

Para salvar cruces de tuberías de la misma altura, no se deberían de formar codos hacia arriba, salvo indicación expresa de la Dirección de la Obra. Cuando se deban poner dos o más codos en un tramo y montarse de tal modo que se eviten los puntos de acumulación de aire, y cuando sean inevitables, se instalarán en ellos un purgador automático.

1.4.1.3. Soldadura

La soldadura de los tubos está prevista a tope. El material necesario para la soldadura al arco será por cuenta del Adjudicatario. Para la elección de las soldaduras, si es preciso, se exigirá la limpieza interior del tubo metálico por paso de una escobilla. El tubo será alineado de forma que su eje se confunda con el precedente y las extremidades al soldar serán mantenidas en su sitio durante el punteo.

Ninguna gota de soldadura será tolerada en el interior del tubo. La penetración de la soldadura será regular. Los soldadores que intervengan en los trabajos deberán presentar los certificados de homologación y calificación otorgados por la Autoridad Competente. La calificación de los soldadores y la recepción por radiografía de las soldaduras se hace según lo indicado a continuación:

- Falta de penetración: junta soldada no afectando la totalidad del espesor de la pared del tubo. Una longitud máxima de 25 mm de soldadura no soldada no será admitida más que cuando esté comprendida entre dos cordones reconocidos sin defectos de 150 mm de longitud unitaria.
- Falta de fusión (*collage*): junta soldada por la cual el metal de base del tubo no fue fundido. Una longitud máxima de 25 mm de soldadura no fundida no será admitida más que cuando esté comprendida entre dos cordones reconocidos sin defecto de 150 mm de longitud unitaria.
- Canales o surcos laterales: un canal continuo de 4/10 mm no podrá ser tolerado más que si la longitud es superior a 25 mm.
- Penetración y falta de alineación: el espesor de estos dos defectos acumulados será inferior a 1,6 mm.
- Fisuras: prohibidas.

Los defectos mencionados podrán acumularse sobre una longitud máxima de 50 mm.

En cuanto a la identificación de soldaduras, el Adjudicatario tendrá en dos ejemplares un cuaderno de soldadura, en el que se indicará:

- El número de soldadura (un mismo número no podrá designar dos soldaduras diferentes)
- El número de fabricación de los tubos
- El marcado de las soldaduras con relación a marcas bien determinadas
- El indicativo del soldador que ha ejecutado la soldadura
- Las características de los electrodos empleados
- La fecha de ejecución
- La fecha del examen gammagráfico
- El indicativo del controlador
- La fecha y los resultados de los ensayos gammagráficos. Las longitudes exactas de los elementos tubulares derechos y acortados entre dos soldaduras

Toda soldadura reconocida defectuosa al examen de estanqueidad será reparada por cuenta del

Adjudicatario. La reparación se efectuará bien por repetición local del defecto o bien por reemplazamiento completo de la soldadura defectuosa. Cada soldadura sustituida, localmente o en su totalidad, será registrada en el "Cuaderno de Soldaduras", siguiendo las especificaciones citadas.

Todos los materiales de aportación de soldadura vendrán avalados por sus certificados de calidad. Este material será controlado durante los procesos de fabricación y reparación de elementos para comprobar que el material usado es el especificado.

1.4.1.4. Pruebas de estanquidad y de presión

Al terminar de montar una red de un fluido se verifica, comprobando el apriete de los tornillos de las bridas, la existencia de todos los tornillos en las bridas y de juntas entre ellas.

En las uniones locales roscadas se comprobará la junta de la unión (cinta de teflón).

En las válvulas se comprobará su correcta posición, abierta o cerrada, según los casos. Realizada la comprobación anterior, se llevará a cabo la prueba de estanqueidad, empleando para esto agua a temperatura ambiente y a presión de trabajo durante un periodo de 24 horas.

Las pruebas de presión de las tuberías deberán efectuarse durante 60 min a 1; 5 veces la presión normal de trabajo, para lo cual el Adjudicatario deberá prever los elementos necesarios.

Todos los gastos ocasionados por las citadas pruebas correrán por cuenta del Adjudicatario, así como las correcciones que se deban efectuar hasta conseguir los resultados requeridos.

1.4.2. Soportes y estructuras

En este apartado se establecen las condiciones técnicas requeridas para el suministro y montaje de los soportes necesarios para las tuberías objeto de la especificación.

1.4.2.1. Diseño de materiales y fabricación

Los materiales a emplear serán los indicados en los planos. Todos los materiales de chapa a emplear por el suministrador, deberán venir avalados por certificados de calidad de la siderurgia.

En los perfiles laminados será suficiente con la marca de calidad impresa en el relieve de laminación. Todos los materiales de aportación de soldadura vendrán avalados por sus certificados de calidad. Este material será controlado durante los procesos de fabricación y reparación de elementos para comprobar que el material usado es el especificado. Las tolerancias dimensionales de los laminados serán los indicados en la norma UNE correspondiente.

1.4.2.2. Uniones soldadas

El instalador será totalmente responsable de que el trabajo, tanto mano de obra como ejecución, cumplan las especificaciones requeridas. Todas las soldaduras se efectuarán por alguno de los siguientes procedimientos:

- Arco manual con electrodo revestido
- Semiautomática con protección de CO2 o gas inerte con electrodo macizo
- Automática con arco sumergido

El instalador entregará para su aprobación los procedimientos de soldadura a emplear, en los que figurarán como mínimo:

- Preparación de bordes
- Posición
- Proceso empleado, con indicación de parámetros
- Características del metal de aportación
- Temperaturas
- Tratamiento térmico final, si se aplica

Las características mecánicas del metal depositado serán como mínimo las indicadas para el material base. No se permitirá la realización de ninguna soldadura, ni siquiera provisional, a soldadores no homologados.

1.5. Control de calidad

El Adjudicatario realizará y mantendrá un Plan de Control de Calidad. Controlará los documentos, procedimientos e informes relacionados con las calidades de los equipos. La Propiedad o su representante tendrán accesibilidad a estos documentos, procedimientos e informes cuando así lo requiera.

El Adjudicatario identificará, documentará y notificará a la Propiedad todos los incumplimientos de los requisitos de esta especificación. Al final de los trabajos se entregará a la Propiedad la documentación generada en los mismos.

1.6. Seguridad y señalización

Todas las máquinas y equipos instalados vendrán pintados de fábrica. Cada equipo o elemento principal llevará fijada con seguridad, en sitio visible, una placa con el nombre, la dirección del fabricante y el número de catálogo. No se aceptarán placas que lleven únicamente el nombre de un agente distribuidor.

Todos los equipos de la instalación quedarán debidamente señalizados para su posterior identificación en los planos y en las instrucciones de funcionamiento. Para ello se rotularán en lugar visible el número y denominación correspondiente del aparato que se trate, o mediante placas metálicas si fuese necesario.

1.7.Condiciones de puesta en marcha

El contratista garantizará que todos los equipos han sido probados antes de su instalación final, de manera que cualquier equipo que presente deficiencias de cualquier tipo será reemplazado a expensas del instalador.

Antes de la realización de las pruebas finales, la instalación se deberá encontrar totalmente terminada de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Y deberá haber cumplido de antemano las exigencias previas tales como limpieza, suministro de energía, etc.

1.7.1. Bombas

Se comprobará el correcto funcionamiento tanto de motores como de las bombas propiamente dichas, incluyendo el consumo de energía en condiciones de trabajo. Se verificará que las condiciones de operación y caudales son los deseados en cada caso, actuando sobre las válvulas a la salida de las bombas. Se revisarán y ajustarán los prensaestopas, de manera que no se produzcan fugas o goteos.

La comprobación del caudal se realizará comprobando que la curva característica experimental de la bomba coincide con la dada con el fabricante.

1.7.2. Elementos de control, de regulación y de medida

Se comprobará el buen funcionamiento y exactitud de todos los elementos de medida (manómetros, indicadores de nivel, etc.), evitando errores superiores al ± 1% del fondo de escala.

Se realizará un ajuste exacto de las sondas, interruptores de nivel, etc., y se comprobará su correcto funcionamiento, asegurando los controles y actuaciones previstas en el proyecto.

Será responsabilidad del contratista el reparar o sustituir, según proceda, todos los elementos de control y regulación que ofrezcan desajustes o deficiencias en su funcionamiento.

1.8. Mediciones y valoración

Antes de verificar la recepción provisional, se someterán las obras a pruebas de resistencia, estabilidad e impermeabilidad. De igual modo el contratista procederá a la puesta a punto de la instalación, verificándose pruebas generales de su funcionamiento y efectividad de tratamiento. Las unidades que vayan a ser tapadas serán objeto de medición previa. De no ser así, se entenderá que el contratista acepta correr con los gastos de demolición y descubrimiento precisos para destaparla en caso de que se requiera.

2. Electricidad

2.1. Instalación eléctrica

Todos los equipos y materiales eléctricos se instalarán de acuerdo con las normas de los fabricantes, y todos ellos estarán identificados al principio y al final del recorrido. Pliego de condiciones técnicas particulares

2.2. Motores

Los motores eléctricos tendrán la protección idónea para el lugar y condiciones de trabajo. Serán, en general, de jaula de ardilla.

2.3. Cableado

Todos los cableados se efectuarán con conductores de cobre electrolítico aislado. No se introducirán los conductores en los conductos antes de que éstos estén perfectamente colocados en su sitio y haya sido previamente comprobado que no existe ninguna obstrucción en su interior.

Cuando varios conductores vayan juntos en un tubo, se introducirán ambos al mismo tiempo. Los conductores empleados deberán ser de cobre y su aislamiento será de PVC.

No se admitirán cables con desperfectos superficiales, o que no vayan en las bobinas de origen, en las que debe figurar el nombre del fabricante, el tipo de cable y su sección.

En cuanto a las derivaciones individuales, los diámetros de conductores y tubos se fijan en los planos correspondientes y cada derivación contendrá las fases, neutro y conductor de protección.

2.4. Herramientas

2.4.1. Cuadros de distribución

Los cuadros serán nivelados y alineados perfectamente en su sitio. Antes de entrar en servicio serán repasadas todas las conexiones y la tornillería y se limpiarán perfectamente todos los aisladores, etc. El adjudicatario realizará todas las conexiones interiores y exteriores que se requieran.

2.4.2. Instalaciones de fuerza y alumbrado

El adjudicatario realizará las conexiones en cajas de mecanismos, aparatos, etc. Serán instalados completamente incluyendo lámparas, difusores, reactancias, etc. y todos los accesorios que formen parte del montaje.

Las lámparas se instalarán una vez que estén perfectamente colocados los aparatos de alumbrado de acuerdo con los planos e instrucciones del fabricante.

3. Condiciones de los materiales

3.1. Condiciones generales

Todos los materiales a emplear serán de calidad y reunirán las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción. Todos ellos podrán ser sometidos a ensayos o pruebas para acreditar su calidad, tal y como se expresa en las Cláusulas Administrativas del pliego de condiciones. Deberán ser resistentes a las acciones a las que estén sometidos en las condiciones de trabajo, de forma que no puedan deteriorarse o envejecer prematuramente en condiciones normales de utilización.

Aquellos materiales para los cuales existan disposiciones oficiales que reglamenten la recepción, transporte, manipulación o empleo, deberán satisfacer la reglamentación en vigor.

Para aquellos materiales no especificados, se seguirán las instrucciones de la Dirección Técnica. Además, estos materiales podrán ser sometidos a pruebas o análisis por cuenta de la contrata que se crean necesarios para acreditar su calidad.

3.2. Condiciones que han de cumplir los materiales

3.2.1. Aceros

El contratista indicará las características mecánicas de los aceros empleados

3.2.1.1. Acero de alta adherencia en redondos para armaduras

Estos aceros vendrán marcados de fábrica con señales indelebles para evitar confusiones en su empleo. No presentarán defectos, grietas, sopladuras ni mermas de sección superiores al 5%.

3.2.1.2. Acero laminado

Los perfiles de acero laminado vendrán con su correspondiente identificación de fábrica, con señales indelebles para evitar confusiones. No presentarán grietas, ovalizaciones, sopladuras ni mermas de sección superiores al 5%.

3.2.2. Materiales para hormigones y morteros

3.2.2.1. Áridos

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, machacados u otros productos cuyo empleo resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en un laboratorio oficial. En cualquier caso, cumplirá las condiciones de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

En el caso de utilizar escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos.

Se cumplirán las condiciones señaladas en la EHE en cuanto al tamaño de los áridos.

3.2.2.2. Agua para amasado

- Si se emplea cloruro cálcico como acelerador, su dosificación será igual o menor del 2% en peso del cemento y si se trata de hormigonar con temperaturas muy bajas, del 3,5% en peso del cemento.

- Si se usan aireantes para hormigones normales su proporción será tal que la disminución de la resistencia a compresión producida por la inclusión del aireante sea inferior al 20%. En ningún caso la proporción del aireante será mayor al 4% en peso del cemento.

- En caso de empleo de colorantes, la proporción será inferior al 10% en peso del cemento. No se emplearán colorantes orgánicos.

- Cualquier otro límite que se derive de la EHE.

3.2.2.3. Aditivos

Si se emplea cloruro cálcico como acelerador, su dosificación será igual o menor del 2% en peso del cemento y si se trata de hormigonar con temperaturas muy bajas, del 3,5% en peso del cemento.

- Si se usan aireantes para hormigones normales su proporción será tal que la disminución de la resistencia a compresión producida por la inclusión del aireante sea inferior al 20%. En ningún caso la proporción del aireante será mayor al 4% en peso del cemento.
- En caso de empleo de colorantes, la proporción será inferior al 10% en peso del cemento. No se emplearán colorantes orgánicos.
- Cualquier otro límite que se derive de la EHE.

3.2.2.4. Cemento

Los cementos a emplear podrán almacenarse en sacos o a granel. En el primer caso, el almacén protegerá contra la intemperie y la humedad, tanto del suelo como de las paredes. Si se almacena a granel, no podrán mezclarse en el mismo sitio cementos de distintas calidades y procedencias. Se exigirá al contratista la realización de ensayos que demuestren que los cementos cumplen las condiciones exigidas. Las partidas de cemento defectuoso serán retiradas de la obra en el plazo máximo de 8 días. Los ensayos se realizarán en laboratorios homologados. Se tendrán en cuenta prioritariamente las determinaciones de la EHE.

3.2.2.5. Productos para curado de hormigones

Se definen como productos para curado de hormigones hidráulicos los que, aplicados en forma de pintura pulverizada, depositan una película impermeable sobre la superficie de hormigón para impedir la pérdida de agua por evaporación.

El color de la capa protectora resultante será claro, preferiblemente blanco, para evitar la absorción del calor solar. Esta capa deberá ser capaz de permanecer intacta durante 7 días al menos después de una aplicación.

3.2.2.6. Desencofrantes

Se definen como tales a los productos que, aplicados en forma de pintura a los encofrados, disminuyen la adherencia entre éstos y el hormigón, facilitando la labor de desmoldeo. El empleo de estos productos deberá ser expresamente autorizado.

3.2.3. Materiales no especificados en el pliego

Los demás materiales que se emplean en las obras objeto de este proyecto, y que no han sido específicamente tratados, serán de probada calidad entre los de su clase, en harmonía con las aplicaciones que hayan de recibir y con las adecuadas características que exige su correcta

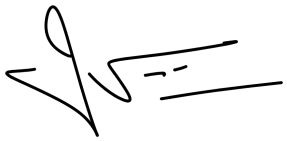
conservación, utilización y servicio. Deberán cumplir las exigencias que figuran en las exigencias de este proyecto y el contratista deberá indicar las características mecánicas, así como su composición química.

En todo caso, los materiales serán sometidos a estudio y aprobación, exigiendo catálogos, referencias, muestras, informes y certificados que los correspondientes fabricantes estimen necesarios. Si la información no se considerase suficiente, podrán exigirse los ensayos oficiales oportunos de los materiales a utilizar.

Santiago de Compostela, Junio 2019

Autores del proyecto:





Julio Sequeiros Fernández

Iago Vaamonde López

DOCUMENTO V PRESUPUESTO

Planta de Oligomerización de Butano olefínico

Información no disponible en la versión pública