



PLANTA DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS DE DEPURADORA Y RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidade de Santiago de Compostela

Escola Técnica Superior de Enxeñaría

Julio, 2015

Francisco Manteiga Vázquez

ÍNDICE GENERAL

Documento I: MEMORIA

Anexo I - Balances de materia

Anexo II - Balances de energía

Anexo III - Cálculos y selección de equipos

Anexo IV - Sistema de control

Anexo V - Fichas de seguridad

Anexo VI - Evaluación de la viabilidad económica

Documento II: PLANOS

Plano 1 - Emplazamiento

Plano 2 - PFD

Plano 3 - P&ID

Plano 4 - Implantación

Documento III: ESTUDIOS CON IDENTIDAD PROPIA

Estudio de seguridad

Estudio de impacto ambiental

Documento IV: PLIEGO DE CONDICIONES

Documento V: PRESUPUESTO

**PLANTA DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE
LODOS DE DEPURADORA Y RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

**DOCUMENTO I:
MEMORIA**

Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidade de Santiago de Compostela

Escola Técnica Superior de Enxeñería

Julio, 2015

Francisco Manteiga Vázquez

ÍNDICE

1. Objeto del proyecto	11
2. Situación y emplazamiento	12
3. Antecedentes	14
3.1. Aplicación directa al terreno	15
3.1.1. Ventajas.....	15
3.1.2. Desventajas	15
3.2. Estabilización y aplicación al terreno	15
3.2.1. Estabilización básica	16
3.2.1.1. Ventajas.....	16
3.2.1.2. Desventajas	16
3.2.2. Estabilización por tratamiento aerobio.....	16
3.2.2.1. Ventajas.....	16
3.2.2.2. Desventajas	17
3.2.3. Estabilización por digestión anaerobia	17
3.2.3.1. Ventajas.....	17
3.2.3.2. Desventajas	17
3.2.4. Estabilización por compostaje.....	17
3.2.4.1. Ventajas.....	18
3.2.4.2. Desventajas	18
3.3. Envío a vertedero	18
3.4. Incineración.....	18
4. Requisitos de diseño: necesidades y condicionantes	19
5. Planteamiento de soluciones y justificación de la solución	20
6. Introducción a la digestión anaerobia.....	21
6.1. Desarrollo histórico de la tecnología.....	21
6.2. Usos del biogás.....	24
6.3. Usos de los lodos anaerobios	25
7. Caracterización del proceso	25
7.1. Materias primas	25
7.1.1. Lodos activos	25
7.1.2. Residuos sólidos urbanos	26

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

7.2. Productos	29
7.3. Subproductos	30
7.4. Residuos	30
8. Descripción del proceso	31
8.1. Diagrama de bloques.....	31
8.2. Descripción del proceso	31
8.2.1. Pretratamiento.....	31
8.2.1.1. Separación de RSU	31
8.2.1.2. Acondicionamiento de RSU y lodos de depuradora.....	32
8.2.2. Digestión anaerobia	33
8.2.2.1. Temperatura.....	33
8.2.2.1.1. Digestión mesófila.....	33
8.2.2.1.2. Digestión termófila.....	33
8.2.2.1.3. Digestión mesófila en etapas	34
8.2.2.1.4. Digestión termófila en etapas	34
8.2.2.1.5. Digestión termófila en etapas con cambio de temperatura	34
8.2.2.2. Alcalinidad	35
8.2.2.3. pH	35
8.2.2.4. Etapas	36
8.2.2.4.1. Hidrólisis.....	36
8.2.2.4.2. Acidogénesis.....	37
8.2.2.4.3. Acetogénesis	37
8.2.2.4.4. Metanogénesis	37
8.2.3. Postratamiento.....	38
8.2.3.1. Biogás	38
8.2.3.2. Lodos	39
9. Descripción de la instalación	39
9.1. Capacidad	39
9.2. Equipos	40
9.2.1. Pretratamiento.....	40
9.2.1.1. Almacenamiento de RSU sin procesar	40
9.2.1.2. Trituradora	40

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

9.2.1.3. Trommel	41
9.2.1.4. Separador Magnético.....	41
9.2.1.5. Almacenamiento de RSU pretratados.....	41
9.2.2. Reacción	42
9.2.2.1. Digestor	42
9.2.2.2. Intercambiador de calor	42
9.2.3. Postratamiento.....	43
9.2.3.1. Filtro banda	43
9.2.3.2. CHP	43
9.3. Seguridad y salud	43
9.3.1. Sustancias peligrosas.....	43
9.3.2. Seveso III.....	44
9.3.3. Disposición en planta	45
ANEXO I - Balances de materia	46
1. Pretratamiento	46
2. Etapa de reacción	50
3. Postratamiento.....	56
ANEXO II - Balances de energía	58
1. Intercambiador E-201.....	58
2. Intercambiador E-202.....	60
2.1. Pérdidas de calor en el digestor R-201.....	61
3. Cogeneración C-301	64
ANEXO III - Cálculos y selección de equipos.....	65
1. Diseño y selección de equipos	65
1.1. Tanque de almacenamiento con tolva para RSU sin tratar (TK-101).....	65
1.1.2. Dimensionado	65
1.1.3. Diseño mecánico	66
1.2. Trituradora (CR-101)	67
1.2.1. Diseño mecánico	68
1.3. Trommel (TR-101)	69
1.3.1. Diseño mecánico	69
1.4. Separador magnético (M-101)	70

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

1.4.1. Cinta transportadora	71
1.4.2. Diseño mecánico	71
1.5. Tanque de almacenamiento con tolva para RSU pretratados (TK-102).....	72
1.5.1. Dimensionado	73
1.5.2. Diseño mecánico	73
1.6. Bomba P-101	74
1.6.1. Diseño mecánico	74
1.7. Tanque de mezcla.....	75
1.7.1. Dimensionado	75
1.7.2. Diseño mecánico	77
1.7.2.1. Material de construcción	77
1.8. Bomba P-201	78
1.8.1. Diseño mecánico	78
1.9. Digestor (R-201).....	79
1.9.1. Dimensionado	79
1.9.2. Diseño mecánico	84
1.9.2.1. Selección del material de construcción.....	84
1.9.2.2. Diseño del cuerpo del reactor	85
1.9.2.3. Diseño de la membrana	85
1.9.2.4. Cimentación	86
1.9.2.5. Accesos para mantenimiento e inspección.....	87
1.10. Bomba P-202	88
1.10.1. Diseño mecánico	88
1.11. Intercambiador de precalentamiento (E-201)	89
1.11.1. Consideraciones previas.....	89
1.11.2. Dimensionado y diseño térmico	91
1.11.3. Diseño mecánico	100
1.12. Intercambiador externo del reactor (E-202)	101
1.12.1. Consideraciones previas.....	101
1.12.2. Dimensionado y diseño térmico	104
1.12.3. Diseño mecánico	110
1.13. Tanque de almacenamiento de lodos T-301.....	110

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

1.13.1. Dimensionado	111
1.13.2. Diseño mecánico	111
1.14. Filtro F-301	112
1.14.1. Diseño mecánico	113
1.15. Cogeneración (CG-301)	114
1.15.1. Diseño mecánico	114
1.16. Tuberías.....	115
1.16.1. Normativa de aplicación.....	115
1.16.2. Diseño de tuberías	116
1.16.2.1. Material de construcción	116
1.16.2.2. Diámetro	116
1.16.3. Accesorios	118
ANEXO IV - Sistema de control.....	119
1. Introducción	119
1.1. Temperatura.....	119
1.2. Caudal.....	120
1.3. Nivel.....	120
2. Lazo 101.....	120
3. Lazo 102.....	121
4. Lazo 201.....	122
5. Lazo 202.....	123
6. Lazo 203.....	124
7. Indicadores y alarmas.....	125
7.1. Sección 100.....	125
7.1.1. Indicadores.....	125
7.1.2. Alarmas.....	125
7.2. Sección 200.....	126
7.2.1. Indicadores.....	126
7.2.2. Alarmas.....	126
7.3. Sección 300.....	127
7.3.1. Indicadores.....	127
7.3.2. Alarmas.....	127

ANEXO V - Fichas de seguridad	128
Metano	128
ANEXO VI - Evaluación de la viabilidad económica	133
1. Introducción	134
2. Capital inmovilizado	134
3. Capital circulante.....	134
4. Costes de explotación	135
4.1. Gastos de personal.....	135
4.2. Costes de mantenimiento	135
4.3. Materias primas	135
4.4. Costes del seguro	135
4.5. Coste eléctrico.....	135
5. Ingresos	136
5.1. Reciclaje de metales ferrosos.....	136
5.2. Venta de energía eléctrica	137
5.3. Ahorro económico.....	137
5.3.1. Lodos de depuradora	137
5.3.2. Residuos Sólidos Urbanos	138
6. Amortización	138
7. Beneficios antes de impuestos (BAT).....	139
8. Impuesto de sociedades.....	140
9. Flujos de caja	140
10. Valor Actual Neto (VAN).....	140
11. Tasa Interna de Retorno (TIR)	141
12. Tiempo de retorno	141
13. Resultados de la valoración.....	141
13.1. VAN.....	143
13.2. TIR.....	143
13.3. Tiempo de retorno	144

1. Objeto del proyecto

El objeto de este proyecto es el diseño de una planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora con la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Se plantea para ello una modificación del esquema tradicional de digestión anaerobia de lodos, ya que integra el tratamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos que proceden de la recogida selectiva municipal en un sistema de codigestión. La instalación que se pretende diseñar se ubica en el espacio disponible de la parcela de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Treviso, Italia.

La justificación del proyecto se basa en el mayor potencial de producción de biogás asociado al proceso de codigestión. Los lodos de depuradora son, a priori, un residuo del proceso de depuración de aguas residuales. Por lo tanto el tratamiento de los lodos se entiende como un proceso de tratamiento de residuos, una etapa necesaria para cerrar el ciclo de cualquier proceso industrial. Se trata de evitar impactos ambientales mayores como pueden ser la emisión y dispersión de los compuestos volátiles que quedan recogidos en los lodos durante el tratamiento de aguas residuales.

Los objetivos de la planta de digestión anaerobia son, fundamentalmente:

- Estabilización de los lodos de depuradora
- Destrucción de patógenos
- Reducción de volumen de lodos
- Producción de biogás y, en fin, de energía

El tratamiento de residuos no es necesariamente un proceso rentable, pero sí necesario. Sin embargo por la naturaleza del proceso que se desarrolla en esta planta, la digestión anaerobia, existe una etapa de producción de energía que puede no sólo cubrir las necesidades energéticas de la planta sino llegar a producir energía en exceso como para venderla. Dado que la producción de lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales es un proceso continuo se plantea un funcionamiento de la planta 365 días/año y 24 horas/día.

2. Situación y emplazamiento

La planta de codigestión anaerobia estará gestionada por la misma empresa que la planta de tratamiento de aguas residuales de Treviso. Por ese motivo se situará en el mismo lugar que dicha planta.

La ciudad de Treviso es la capital de la provincia homónima. La provincia se sitúa en la región del Véneto, en el noroeste de Italia. Esta región está cruzada por varios ríos de entre los cuales destaca el río Sile, a cuyas aguas vierte la planta de depuración. La planta se encuentra en las afueras de la ciudad de Treviso, a unos 3 km. Además esta zona, eminentemente agrícola, es accesible para el transporte únicamente por carretera.

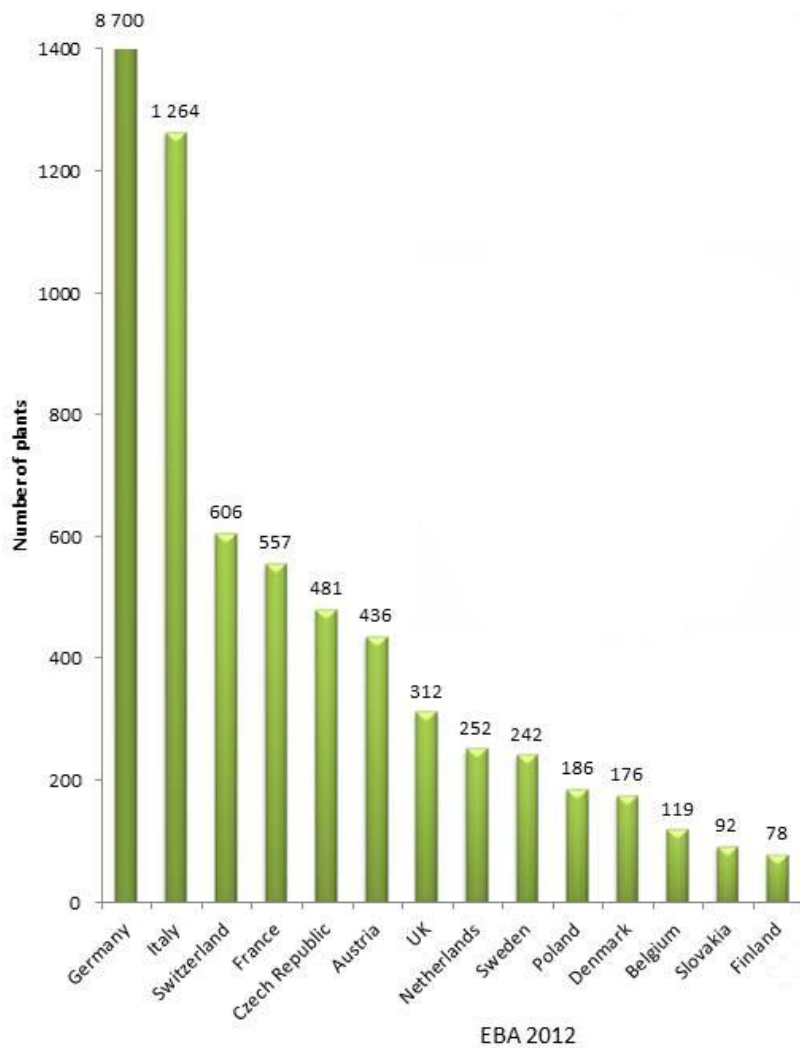


Figura 1- Número de plantas de biogás por país en 2012 (European Biogas Association)

El hecho de que la situación de esta planta esté situada en Italia no es casual. En los últimos años la producción de biogás en Europa ha crecido muy notablemente, y ese crecimiento va encabezado por Alemania e Italia. Históricamente en Alemania se tendía más a la construcción de plantas de producción de biogás basadas en los cultivos energéticos, es decir, se cultivan determinadas especies vegetales que tienen un alto rendimiento en términos de producción de biogás si son procesadas mediante digestión anaerobia. De hecho en Europa se sigue dependiendo mucho de los cultivos energéticos: la European Biogas Association estima que en torno a un 50-55% de la alimentación de las plantas de biogás en Europa sigue siendo basada en cultivos energéticos.

Sin embargo esta es una situación controvertida porque los cultivos energéticos tienen muchas críticas desde el punto de vista social porque se están destinando alimentos a producir combustible. Tanto es así que en Alemania, la principal potencia europea en lo que a cultivos energéticos se refiere, está legislando para limitar el uso de cultivos energéticos para la producción de biogás. Pero el biogás sigue siendo un recurso muy demandado, tanto en Alemania, como en el resto de Europa. La tendencia, para mantener la producción, es a utilizar otras materias primas para el proceso de digestión anaerobia. Y los principales candidatos para sustituir a los cultivos energéticos o, de momento, competir con ellos por la producción de biogás, son los residuos. Tanto el gas de vertedero, menos habitual, como la digestión anaerobia de lodos de depuradora están desplazando a los cultivos energéticos, si bien todavía tienen el mayor peso en la producción de biogás en Europa.

En Italia la situación es distinta a Alemania. Italia produce la mayor parte de su biogás usando lodos de depuradora como materia prima. El país es una potencia mundial en producción de biogás, situándose como tercer productor mundial, después de Alemania y China¹. En la misma fuente se hace hincapié en una creciente tendencia de la producción de biogás con cultivos energéticos, que supone en el país alrededor de un 35% de la producción, muy por debajo de la media europea. Además se explicita que en 2013 el 10% de la energía producida a partir de fuentes renovables fue producida por la generación de energía eléctrica a partir de biogás, con un total de 7400 GWh en ese año.

¹ <http://www.lastampa.it/2015/02/01/scienza/ambiente/focus/biogas-litalia-terzo-produttore-al-mondo-dopo-germania-e-cina-OSjLZIsghgUmMloNF7mxIN/pagina.html> (Consultado el 26/06/2015)

Curiosamente, además, Italia es el primer país en lo que a uso de gas natural como combustible de vehículo se refiere, copando el 75% del parque de vehículos de este tipo en Europa, con un total de unos 800.000 vehículos.²

Desde el año 2011 el gobierno italiano viene incentivando la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, haciendo un especial hincapié en la producción a partir de biogás. Desde entonces se han publicado varias leyes favoreciendo e incentivando económicamente el uso de esta tecnología.

Por lo tanto Italia es una de las mejores localizaciones en Europa para una planta de este tipo, incluso en una planta de tratamiento de aguas relativamente pequeña, como es el caso de la planta de Treviso.

3. Antecedentes

Desde el momento en que existen aguas residuales urbanas surge una necesidad para depurar estas aguas. El proceso de depuración está ya muy estudiado y existen diferentes configuraciones para llevarla a cabo. En cualquier caso la depuración de aguas residuales implica retirar los contaminantes, fundamentalmente materia orgánica, del agua para dar lugar a una corriente de agua limpia. Los contaminantes se retiran en otra corriente que es lo que se denomina corriente de lodos.

Antes de dar cualquier uso a los lodos es necesario estabilizarlos. La estabilización consiste en la eliminación de patógenos, olores y la reducción de la putrefacción potencial. Existen varias formas de estabilizar los lodos y las más habituales serán tratadas en este capítulo. Los métodos principales son la estabilización básica, digestión anaerobia, tratamiento aerobio y compostaje.

Las corrientes de lodos se consideran, a priori, un residuo, y es necesario tratarlo como tal. Dado el gran volumen de lodos que se producen en todas las plantas de tratamiento de aguas se han desarrollado diferentes alternativas para dar salida a estos lodos:

² <http://www.ngvaeurope.eu/italy-clears-the-way-for-widespread-use-of-biomethane> (Consultado el 26/06/2015)

3.1. Aplicación directa al terreno

Una solución típica, y probablemente una de las primeras, es la aplicación directa al suelo. Los lodos que resultan de la depuración de aguas residuales urbanas contienen gran cantidad de nutrientes. De hecho ese es uno de los objetivos del tratamiento de aguas. Por lo tanto no resulta descabellado pensar que esos nutrientes pueden ser utilizados como fertilizante para terrenos agrícolas.

Y de hecho así se hace en buena parte de las plantas de tratamiento de aguas.

3.1.1. Ventajas

Las ventajas de esta técnica son claras y se fundamentan en que no utiliza ningún tratamiento más que, si acaso, la deshidratación. Por tanto el gasto es mínimo. Tanto es así que en muchos casos los lodos de depuradora se regalan a los agricultores de la zona. Además proporcionan nutrientes al terreno, con lo que cumplen la función de un fertilizante.

3.1.2. Desventajas

La aplicación directa conlleva la dispersión y transmisión a cultivos de microorganismos propios de los tratamientos biológicos de la planta de tratamiento de aguas y de patógenos.

Al no haber una estabilización de los lodos es común encontrarse con problemas de emisión de olores. Además los lodos contienen gran cantidad de sólidos volátiles que se contamina el terreno y serán eventualmente emitidos a la atmósfera, con lo que desde el punto de vista ambiental y social es una opción muy criticable.

3.2. Estabilización y aplicación al terreno

Para evitar problemas de olores y de emisión de volátiles se puede proponer una etapa de estabilización de los lodos antes de su uso posterior. Los procesos de estabilización más típicos son:

3.2.1. Estabilización básica

Lo que se conoce como estabilización básica consiste sencillamente en elevar el pH de la corriente de lodos para así destruir los organismos patógenos que son uno de los principales problemas de los lodos. El pH se eleva normalmente añadiendo hidróxido de calcio a la corriente hasta llegar a un pH alrededor de 12.

3.2.1.1. Ventajas

- Se consigue una buena tasa de destrucción de organismos patógenos y, en fin, la mayor parte de problemas de olores.
- Los costes son significativamente más bajos que los de cualquier otro método de estabilización.

3.2.1.2. Desventajas

- No se produce una reducción en la masa de lodo, al contrario, al tener que añadir cal la masa de lodo estabilizado es mayor, lo que resulta en un coste de transporte mayor.
- El manejo de cal supone un riesgo añadido, pues es necesario manejarla con cierta precaución.

3.2.2. Estabilización por tratamiento aerobio

El tratamiento aerobio consiste en la degradación biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno. El proceso conlleva una serie de reacciones que implican la aparición de iones amonio que son transformados a nitratos durante el proceso. La necesidad de oxígeno disuelto para un correcto desarrollo de la operación implica que se necesita un sistema de aporte de oxígeno. Este proceso destruye organismos patógenos bajo determinadas condiciones de tiempo de residencia.

3.2.2.1. Ventajas

- La digestión anaerobia supone una reducción de la masa de lodos.
- Puede destruir organismos patógenos.
- Incrementa el valor como fertilizante.

- Produce un lodo sin olor y biológicamente estable

3.2.2.2. Desventajas

- La necesidad de oxígeno supone un coste extra.
- La destrucción de organismos patógenos sólo ocurrirá con tiempos de residencia muy elevados, entre 40 y 60 días.

3.2.3. Estabilización por digestión anaerobia

La digestión anaerobia es el mecanismo de degradación biológica de materia orgánica en ausencia de oxígeno. Como producto de la reacción se obtiene una corriente gaseosa mezcla de metano y dióxido de carbono que se conoce como biogás. La digestión anaerobia puede ocurrir en varios rangos de temperatura con actividad de distintos grupos de microorganismos.

3.2.3.1. Ventajas

- Produce una corriente de combustible gaseosa que puede ser utilizada para la generación de energía calorífica y eléctrica.
- Destruye organismos patógenos
- No necesita aporte de oxígeno
- El lodo tiene el mismo contenido en nutrientes que a la entrada, y es biológicamente estable.

3.2.3.2. Desventajas

- Necesita una inversión inicial, aunque al generar un combustible la inversión puede ser amortizada.
- Al tratar un combustible introduce un riesgo más al proceso.

Esta es la opción que se trata en el presente proyecto.

3.2.4. Estabilización por compostaje

El compostaje conlleva la degradación de la materia orgánica (una vez deshidratada) en condiciones fundamentalmente aeróbicas. Es posible el compostaje en condiciones anaerobias

pero el hacerlo en condiciones aerobias aumenta la velocidad del proceso y provoca un aumento de la temperatura beneficioso para la reducción de patógenos. Alrededor de un 20-30% de sólidos volátiles son convertidos en CO₂ y agua.

3.2.4.1. Ventajas

- Destruye parte de los volátiles.
- Aumenta la temperatura, con la consiguiente eliminación de patógenos.
- El producto resultante tiene valor como fertilizante.

3.2.4.2. Desventajas

- Necesita aporte de oxígeno, que conlleva un coste económico.
- Un mal procesado puede conllevar exposiciones a organismos patógenos.
- Problemas con bioaerosoles (dispersión a través del aire de organismos patógenos que afectan a la salud humana).

3.3. Envío a vertedero

Ésta pudo ser una opción en el pasado cuando el manejo de biosólidos no se hacía con demasiado cuidado. El envío al vertedero se sigue practicando aún hoy en una parte considerable de las estaciones de depuración de aguas residuales, aunque la legislación es cada vez más restrictiva.

Además de la emisión de todos los volátiles que contienen los lodos, al enviarlos a vertedero se está desaprovechando todo su potencial como fertilizante o como potencial generador de combustible.

3.4. Incineración

La incineración de lodos de depuradora es una alternativa de valorización. Al incinerar directamente los lodos se obtiene una corriente de energía calorífica. Los volátiles se queman de forma que no son emitidos directamente a la atmósfera, pero sí se emiten CO₂ y partículas sólidas. Se consigue una máxima reducción del volumen, con lo que se abarata su manejo. Además produce una completa destrucción de los patógenos.

En cualquier caso la incineración requiere de un pretratamiento, para adecuar los lodos a esta etapa, con tareas de espesamiento y deshidratación. Además conlleva una inversión inicial muy importante y unos determinados conocimientos sobre el tema para el manejo de una planta de este tipo.

Y el residuo sólido fruto de la combustión puede presentar problemas a la hora de su manejo, pues dependiendo de la concentración de contaminantes que tenga podría llegar a considerarse residuo peligroso.

4. Requisitos de diseño: necesidades y condicionantes

El proyecto requiere del tratamiento de 85 m³/día de lodos de depuradora. Los lodos provienen de la EDAR de Treviso, en Italia. La producción de lodos en una planta de tratamiento de aguas no siempre es constante, pues depende de la cantidad de agua que se esté tratando en cada momento.

La solución adoptada debe ser adecuada al entorno en el que se va a desarrollar la actividad. Los alrededores de la planta son eminentemente terrenos agrícolas, aunque está rodeada de viviendas unifamiliares dispersas. En cualquier caso la ciudad de Treviso, con casi 85.000 habitantes, se encuentra a unos 4 km y es un factor que debe tenerse en cuenta.

Además un factor a tener en cuenta durante el diseño es que se va a producir un digerido, unos lodos anaerobios, que es necesario tratar. Existen varias formas de tratar los lodos anaerobios, pero una de las más habituales es el procesado en una etapa de compostaje. Para enviar el digerido a compostaje es necesario retirar parte del agua porque la concentración de sólidos es muy baja. Haciendo eso se consigue la salida de una fracción de digerido rica en sólidos, pero sigue existiendo un problema con la fracción líquida que, aunque no contenga muchos sólidos, producirá malos olores.

Es necesario, y aquí se expresa como un requerimiento del diseño, que sea cual sea el destino del digerido existan etapas de tratamiento para este residuo.

5. Planteamiento de soluciones y justificación de la solución

En el apartado de Antecedentes se han listado y analizado una serie de alternativas en uso para el tratamiento de lodos de depuradora. Lo que parece claro es que los lodos de depuradora tienen dos usos potenciales:

- Uso agrícola
- Uso energético

En lo referente al uso agrícola se contemplan todas las alternativas que implican una aplicación al suelo, con o sin estabilización, mientras que en lo tocante al uso energético la cuestión se dirime entre incineración o digestión anaerobia.

Queda descartada, por tanto, la alternativa de envío a vertedero, por ser totalmente opuesta a la revalorización de los lodos.

En cuanto a la aplicación directa al suelo sin estabilización previa también queda descartada porque supone una fuente de potenciales problemas ambientales y una dispersión deliberada de organismos patógenos.

Por tanto la selección queda reducida a incineración o aplicación al suelo con los cuatro tipos de estabilización: estabilización básica, por tratamiento aerobio, por digestión anaerobia y por compostaje.

La única alternativa que combina los dos usos de los lodos, energético y potencial, es la digestión anaerobia. Por un lado se consigue una corriente de biogás que servirá como combustible gaseoso y por otro se consiguen unos lodos estabilizados con posibilidad de aplicación directa al suelo. Por este motivo la alternativa seleccionada es la digestión anaerobia.

De hecho se propone que los lodos que salen de esta planta, que todavía conservan parte de sus volátiles, sean llevados a una etapa de compostaje antes de ser aplicados al suelo, pues de ese modo se reduciría la cantidad de volátiles que son emitidos y se revalorizarían todavía más estos lodos. De todos modos esa propuesta queda fuera del alcance de este proyecto.

6. Introducción a la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso bioquímico de degradación de materia orgánica en ausencia de aire. Los microorganismos degradan la biomasa y como resultado de ese proceso se producen gases, principalmente metano y CO₂, un producto que se conoce como biogás. Lo que queda de la materia orgánica una vez terminado el proceso se conoce como digerido o lodo anaerobio y aunque se ha eliminado gran parte de la materia orgánica sigue siendo rico en nutrientes por lo que tiene su utilidad como fertilizante o como materia prima para otros procesos de tratamiento de materia orgánica como el compostaje.

El proceso de digestión anaerobia ocurre de manera natural en ambientes húmedos donde haya materia orgánica disponible para la descomposición y una presencia escasa de oxígeno. Estas condiciones no son comunes pero se dan en lugares pantanosos, principalmente en el fondo de aguas estancadas. En estas condiciones es muy probable que la descomposición no sea totalmente anaerobia sino que parte de la materia orgánica sea degradada siguiendo un proceso aerobio. Esto se debe a que en la mayoría de casos la presencia de oxígeno es escasa pero muy rara vez es nula.

6.1. Desarrollo histórico de la tecnología

La digestión anaerobia como proceso bioquímico de aplicación industrial no es una tecnología nueva. Existen indicios del uso de biogás para calentar aguas de baño por parte de los asirios en el siglo 10 A.C.³ y estudios que señalan que la digestión anaerobia podría haber sido aplicada ya en la antigua China.⁴

La producción de gas en el proceso de descomposición de materia orgánica fue descrita por primera vez en 1682 por Robert Boyle y Denis Papin¹. No fue hasta 1804 cuando en los estudios de John Dalton se enunció la fórmula química del metano, principal componente del biogás.

³ WILKINSON, Kevin G., (2011). *Development of On-Farm Anaerobic Digestion*, Integrated Waste Management - Volume I, Mr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-469-6, InTech

⁴ BOND, T., TEMPLETON, M.R., *History and future of domestic biogas plants in the developing world*, Energy for Sustainable Development, 15, 2011, p 347-354

De todas formas para hablar de aplicaciones bien documentadas hay que avanzar hasta bien entrado el siglo XIX. La primera planta de digestión anaerobia bien referenciada fue construida en una colonia de leprosos en India, en la ciudad de Bombay.⁵

Poco después, en 1895 en la ciudad inglesa de Exeter se utilizó el biogás producido en un proceso de digestión anaerobia en una planta de tratamiento de aguas residuales como combustible para las lámparas de las calles, que funcionaban a gas.

Poco después, en 1921, en China se fabrica un reactor de 8 metros cúbicos, atribuido a Guorui Luo que se alimentaba de residuos domésticos. Una década más tarde fundó una compañía que popularizó esta tecnología.⁴

En 1920 en Alemania se empezó a inyectar biogas directamente en la red nacional de distribución de gas, y en ese mismo país alrededor de 1950 aparecen las primeras grandes plantas de digestión anaerobia. Esto ratifica la validez de la tecnología y del proceso de digestión anaerobia como método de obtención de biogás, que al fin y al cabo es un combustible. Esta reivindicación del biogás como combustible gana fuerza en la década de 1970 durante la crisis de la energía. Durante esa época la búsqueda de fuentes de energía alternativas constituye uno de los principales esfuerzos de la comunidad internacional alrededor del futuro energético del planeta.

En ese mismo período, alrededor de la década de los 70, el gobierno chino promovió la instalación de reactores de digestión anaerobia en el medio rural. Se pretendía el "uso del biogás en todas las familias rurales".⁴ Esto no es una aplicación industrial de la digestión anaerobia, pero pone de manifiesto la utilidad de la misma. En este caso cumplía una doble función: la producción de energía, que podría ser usada en los hornillos y lámparas, y una solución para el tratamiento deslocalizado de residuos orgánicos. El tratamiento de residuos en las áreas rurales era muy escaso, en la mayor parte de los casos inexistente, y la construcción de pequeños reactores en las casas permitía obtener biogás y fertilizante que sería usado en los campos trabajados por la familia. Se estima que casi 5 millones de hogares habían implantado esta tecnología en 1988 beneficiándose del combustible doméstico.⁴ En la actualidad se estima que hay más de 27 millones de hogares que utilizan esta tecnología.

⁵ MEYNELL, P.J., Methane: Planning a Digester, Nueva York, Schocken Books, 1976, p. 3

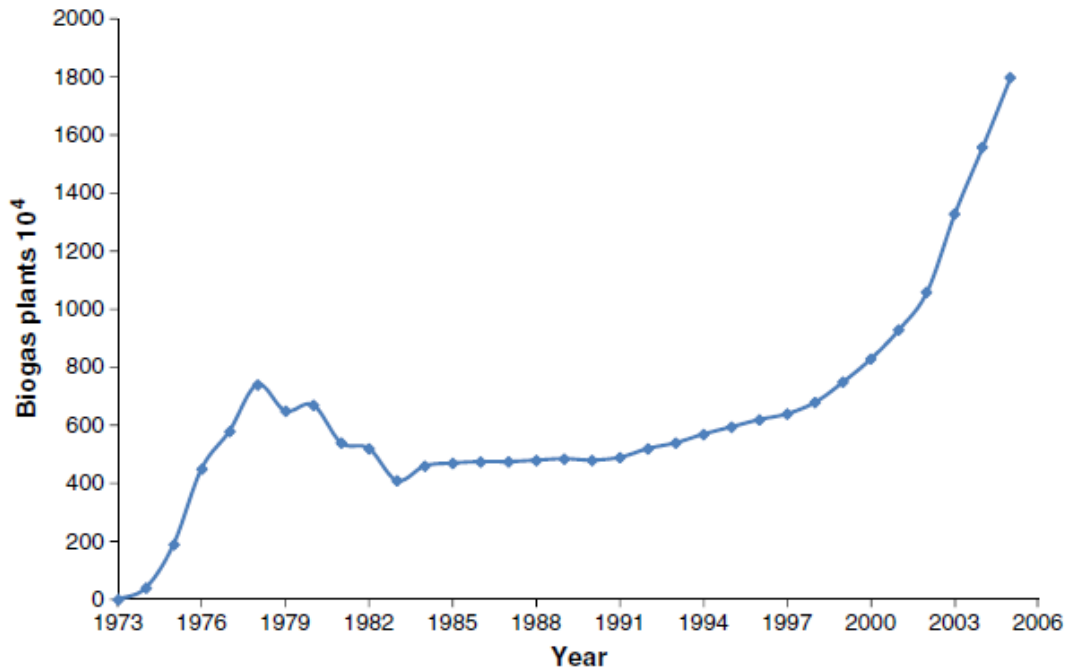


Figura 2 - Número de plantas de biogás en China⁶

De modo análogo en India se creó el Programa Nacional de Desarrollo de Biogás en 1981 y el gobierno ha subsidiado la construcción de reactores anaerobios para la generación de biogás en áreas rurales. En 1999 se estimaba que había unos tres millones de estos reactores "familiares". Más recientemente en 2007 se ha subsidiado la construcción de unos 4 millones más de estos reactores.

Sin embargo tanto en estos países como en Europa y EEUU la digestión anaerobia se convirtió en un proceso industrial útil para tratar también grandes corrientes de residuos de industrias alimentarias, granjas de animales y aguas residuales urbanas. En un principio el objetivo de los procesos de digestión anaerobia era utilizar el biogás en la propia planta donde se producía para generar electricidad y ahorrar costes. Sin embargo la aparición de nuevas tecnologías y la mejora del proceso y del control de las propiedades ha aumentado el rendimiento de este tipo de procesos, lo cual ha dirigido la tendencia a la producción directa de energía a partir de residuos, como un proceso en sí y no sólo como complemento a otros procesos donde se producen residuos orgánicos. En el año 2000 Alemania instauró una política de compra de

⁶BOND, T., TEMPLETON, M.R., (2011) "History and future of domestic biogas plants in the developed world", *Energy for sustainable development*, nº 15 pp. 347-354

energía eléctrica mediante inyección en red que facilitó y promovió la creación de instalaciones industriales con el fin de producir energía eléctrica. Ciertamente esto fue un empujón para el desarrollo de plantas de energías renovables, especialmente solar, pero también la producción de biogás se vio favorecida. Se empiezan a construir plantas destinadas a procesar grandes cantidades de residuos agrícolas y restos de cultivos. Eventualmente esto llevó al uso de los llamados "cultivos energéticos", es decir, se cultivaban plantas, especialmente maíz, con el fin de procesarlo para obtener biogás. Hacia 2007 un crecimiento del precio del cereal, así como el debate sobre la ética de utilizar cultivos para producir energía, hicieron decaer la expansión de ese tipo de instalaciones. En Dinamarca y Suecia, sin embargo, las plantas de digestión anaerobia de residuos fueron las más impulsadas y no se vieron afectadas por estos debates. En aquellos países donde se apostó por el uso de la digestión anaerobia para revalorizar y reducir el volumen de los residuos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, de industria alimentaria o residuos sólidos urbanos la tendencia no tuvo que sufrir ningún cambio. En los que la apuesta fue por la producción de electricidad y se tomaron decisiones destinadas al uso de cultivos energéticos fue necesario un cambio de mentalidad. El cambio en las instalaciones industriales no fue significativo, pues el diseño del reactor es similar y se puede adaptar.

6.2. Usos del biogás

Como se ha apuntado en el apartado anterior el biogás ha tenido diferentes usos a lo largo de la historia. Depende básicamente del momento socioeconómico que se esté atravesando. En cualquier caso la práctica más extendida es su utilización como combustible. Dependiendo de las necesidades de la sociedad puede ser usado como combustible para lámparas de gas (como en Exeter a finales del siglo XIX), como combustible para hornillos y estufas (como en India y China a lo largo del siglo XX) o como combustible en hornos y plantas de cogeneración (como en la mayoría de aplicaciones industriales actuales).

Estudios recientes apuntan a la posibilidad de desarrollar un proceso de reformado catalítico para producir hidrógeno. Se aplicaría un tratamiento térmico con un catalizador de rhodio-alúmina. El resultado sería una mezcla de H_2 y CO que se puede denominar syngas y que puede utilizarse para la producción de combustibles líquidos, como aporte de hidrógeno para las pilas de hidrógeno o simplemente como potenciador de la combustión del biogás.

6.3. Usos de los lodos anaerobios

Una vez se ha degradado la materia orgánica el resultado es un lodo que todavía contiene gran cantidad de nutrientes. Por ese motivo es interesante su aplicación agrícola como fertilizante. Bien es cierto que los lodos de depuradora pueden ser utilizados como fertilizante directamente sin pasar por un proceso de digestión anaerobia, pero en ese caso se liberarían a la atmósfera los compuestos volátiles que mediante este proceso se están convirtiendo en biogás. La aplicación directa de lodos de depuradora como fertilizante es, por ese motivo, un tratamiento no tan ambientalmente amigable como puede parecer. Desde el punto de vista económico es mucho menos rentable que la digestión anaerobia, pues se pierde todo el valor energético potencial que se obtendría en forma de biogás.

7. Caracterización del proceso

7.1. Materias primas

7.1.1. Lodos activos

Los lodos de depuradora son la principal materia prima en una planta de digestión anaerobia de este tipo. La digestión anaerobia cumple dos funciones: por un lado se tratan los residuos de la planta de tratamiento de aguas que son objeto de planes de gestión ambiental. Se reduce su volumen y su masa y se retiran la mayor parte de sólidos volátiles que de otro modo serían emitidos a la atmósfera. Además el proceso que reduce los sólidos volátiles es el de producción de biogás, con lo que además se obtiene un producto de alto valor energético que puede ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y eléctrica. También se eliminan en gran medida los olores producidos por los lodos y que son uno de los problemas más notables en las áreas cercanas a estaciones de depuración de aguas residuales.

Sin embargo la digestión anaerobia de únicamente lodos de depuradora es complicada y poco efectiva. Esto se debe a la naturaleza de los lodos de depuradora. Los lodos activos son el resultado de la eliminación de nutrientes de las estaciones de depuración. La etapa de eliminación biológica de nutrientes que produce los lodos activos que funcionan como materia prima para la digestión anaerobia normalmente es una etapa con un alto tiempo de residencia. Esto es así para una eliminación eficaz pero provoca también una estabilización parcial del lodo

que se produce. Por ese motivo la digestión únicamente de lodos activos no es, en principio, un proceso rentable desde el punto de vista productivo ni económico.

7.1.2. Residuos sólidos urbanos

Por ese motivo se propone de forma habitual la codigestión de lodos activos junto a un cosustrato orgánico que potencie el rendimiento del proceso en términos de producción de metano. Un buen cosustrato suele ser la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU), que de otro modo sería un residuo municipal del que habría que deshacerse. En Italia, igual que en España, existe recogida separada de residuos. Además aunque en Italia, a diferencia de en España, el contenedor de orgánico no es el de basura no separada, es probable que la recolección separada sea suficientemente pobre como para necesitar una etapa de pretratamiento antes de entrar al reactor para eliminar aquello que no sea fracción orgánica. Además antes de entrar al reactor es necesario también acondicionar los residuos reduciendo su tamaño y creando un slurry útil para la digestión húmeda que tendrá lugar.

De la fracción de residuos que se quiere retirar es especialmente interesante la recuperación de metales ferrosos, no sólo por la facilidad de recuperarlos, sino también por el beneficio económico que puede suponer. El resto de esta fracción se puede caracterizar en dos grupos: inertes pesados e inertes flotantes. La separación de ambas fracciones se puede hacer, sin más complicación ni inconveniente, por un mecanismo de flotación-decantación.

La recepción de las materias primas no es igual en el caso de los lodos de depuradora y los residuos sólidos urbanos.

Los lodos activos provienen de la depuradora, que funciona en continuo, así que se producen de forma continua y pueden entrar directamente al proceso. Sin embargo hay variaciones. La planta de tratamiento de aguas estará dimensionada para un determinado caudal de entrada, y ese caudal está sujeto a fluctuaciones. El caudal de lodos que se obtiene irá en función del caudal de agua que entra a la planta de tratamiento de aguas. De esta forma se establece una relación de proporcionalidad entre el agua que entra a la planta de tratamiento de aguas y el caudal de lodos que entra al sistema de digestión anaerobia. Si el caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas fluctúa, y efectivamente, lo hará, esa fluctuación repercutirá aguas abajo en la entrada al sistema de digestión. Por ello será necesario un sistema de

homogeneización del flujo que consistirá en un tanque de acumulación que permita conseguir un flujo constante independientemente del flujo de entrada.

Por otro lado la entrada de residuos sólidos urbanos provenientes de la recogida selectiva no tiene lugar en continuo, sino en discontinuo. La forma en la que estos residuos entran a la planta depende de cómo se recojan los residuos municipales. En este caso la recogida de residuos de Treviso recae sobre la empresa pública Contarini SpA. El sistema de recogida de residuos en Italia se está renovando en estos últimos años, especialmente el de la provincia de Treviso. La instalación que se plantea en este trabajo estará ubicada cerca de la ciudad de Treviso, junto a la planta de tratamiento de aguas, y por tanto estas renovaciones le afectan de manera directa. Los contenedores para la recogida separada tampoco son iguales que los de España. Se distinguen 5 contenedores:

- **Seco no reciclable:**
Incluye bolsas y otros materiales de embalaje difícilmente separables, pañales, bombillas incandescentes, bolígrafos y rotuladores, juguetes, bolsas de aspiradora, CDs, objetos de goma, cosméticos, esponjas, maquinillas de afeitar, cepillos de dientes, paraguas, restos de radiografías...
- **Húmedo**
En él se depositan restos de fruta, verduras y alimentos, cáscaras de huevo, pequeños huesos, restos de pescados y moluscos, posos de café, bolsitas de té, flores secas en pequeña cantidad, pañuelos y servilletas de papel, cajas de arena para animales, cenizas de chimenea, los palos de helado, cajas de pizza sucias...
- **Vegetal**
Dónde se recogen ramas, restos de podas y setos, restos de cortar el césped y flores cortadas, plantas sin tierra, restos vegetales de huertas...
- **Vidrio, plástico y latas**
Incluye todo tipo de envases de vidrio, botellas de plástico de agua y refrescos, envases de plástico, macetas de plástico limpias, envases de yogur, bandejas de poliestireno, latas de aluminio, envases de hojalata tapones y chapas de metal, papel de aluminio, paquetes de nylon y plástico, redes de fruta, celofán, cajas de plástico, perchas...
- **Papel**

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

Aquí van todo tipo de envoltorios de papel, revistas, periódicos, hojas de papel y libros, paquetes de cartón, tubos de papel de cocina y de baño, embalajes de cartón y papel...

El sistema que se implanta ahora en la provincia de Treviso pasa por una recogida selectiva calendarizada. Los ciudadanos guardan los contenedores dentro de su propiedad, "en suelo privado", mientras los van llenando y una vez llenos los sacan a la calle, "en suelo público", para que se proceda a la recolección. El sistema de calendario establece qué fracción, y por tanto qué contenedores, se recogen cada día. Se establece una periodicidad para la recogida de cada tipo de residuos. Se recogen de la siguiente forma:

- Seco no reciclable: 2 veces por semana
- Húmedo: 3 veces por semana
- Vegetal: 1 vez por semana de abril a octubre - 1 vez cada 2 semanas de noviembre a marzo (servicio opcional y sujeto a pagos adicionales)
- Vidrio, plástico y latas: 3 veces por semana
- Papel: 2 veces por semana

Además se ofrecen otros servicios distintos a la recogida puerta a puerta que conllevan la utilización de bolsas específicas para cada tipo de residuos, así como servicios específicos para la recogida de residuos de origen no doméstico.

En este caso no todos los residuos son interesantes. Como no hay un contenedor de orgánico, como ocurre en España, habrá que decidir qué contenedores son interesantes para el proceso. Lo que necesita el proceso de digestión anaerobia es materia orgánica y, en especial, sólidos volátiles. Los contenedores que pueden aportar materia orgánica son el "Húmedo" el "Vegetal" y el "Papel". El reciclaje del papel tiene su propio proceso ya muy estudiado y muy consistente, por lo que resulta poco provechoso utilizar el papel para otros menesteres. En el contenedor de húmedo se recogen los restos de alimentos y, en general, materia orgánica. Por ello su contenido es útil para el proceso de digestión anaerobia y será una parte fundamental de la fracción orgánica que se emplee para el proceso. El contenedor de "vegetal" contiene restos de podas y hortícolas, principalmente va a ser madera o hierba. Este tipo de residuos normalmente se envían a compostaje, pero si se emplean para la digestión anaerobia se obtendrá, a parte de la revalorización de los residuos, un lodo más estabilizado y que producirá menos olores. Además el servicio de recogida del contenedor de "Vegetal" es bajo petición y

se supone que será necesario en casos mucho más puntuales, así que en cualquier caso no supondrá un gran cambio en caso de que se derivasen estos residuos hacia el compostaje particular en las casas. Es necesaria esta aclaración porque el compostaje particular es una de las iniciativas que promueve la empresa pública de recogida de residuos.

En definitiva, que de la recogida selectiva de residuos se aprovechan para la digestión anaerobia tan sólo los residuos que provienen del contenedor de "Húmedo" y de "Vegetal". El contenedor de "Húmedo", como se expuso anteriormente, se recoge 3 veces por semana y el de "Vegetal" se recoge 1 vez por semana entre abril y octubre y 1 vez cada 2 semanas entre noviembre y marzo. Por lo tanto la llegada de residuos a la instalación de digestión anaerobia es discontinua y no coincide para los dos tipos de residuos que se emplean como materias primas. Será necesario también en este caso un tanque de acumulación que permita la extracción en continuo y con un caudal constante de un producto que llega en discontinuo.

7.2. Productos

El único producto resultante del proceso es el biogás. Este proceso es un proceso de revalorización de residuos así que la rentabilidad total del proceso dependerá de la cantidad y calidad del biogás que se produzca.

El biogás es un combustible gaseoso de composición igual al gas natural. El gas natural se forma, o formó, de manera espontánea principalmente en el fondo de los océanos cuando los restos biológicos de microorganismos sedimentados fueron sepultados bajo más capas que formaron estratos rocosos propiciando las condiciones de alta presión y temperatura necesarias para la formación tanto del gas natural como del petróleo. Por otro lado el biogás es el producto de la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno. Ocurre de manera natural fundamentalmente en la superficie de ecosistemas acuáticos como pantanos o estanques. En ese caso el gas es liberado a la atmósfera y no queda almacenado en reservas como ocurre con el gas natural. El biogás que se produce de forma natural no es explotable pero la mayor simpleza del proceso y el hecho de que requiera condiciones menos severas lo convierten en un proceso aplicable industrialmente.

La composición del biogás no es fija, puede variar. De todos modos los principales compuestos presentes en el biogás son metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El primero está presente en una concentración entorno al 65% (pudiendo variar entre el 50 y el 75%) y el CO_2 tiene una

concentración alrededor del 35% (aunque puede variar entre el 25 y el 50%). Además dependiendo de cómo se desarrolle la digestión, de las materias primas y de las condiciones pueden aparecer trazas de otros compuestos como SH_2 , que dependiendo de su concentración, puede hacer necesario un postratamiento del biogás por razones ambientales.

El valor económico del biogás viene dado por su utilidad como combustible. Esta característica viene dada por la cantidad de metano que contenga el biogás, pues ese es realmente el combustible.

7.3. Subproductos

Hay fundamentalmente dos subproductos en este proceso:

Por un lado en la zona de pretratamiento se separan los metales ferrosos con un separador magnético. Estos metales no sólo son perjudiciales para el correcto desarrollo de la digestión sino que además tienen un valor económico suficientemente elevado como para considerarlos un subproducto.

Por otro lado los lodos que se producen en el digestor, una vez espesados, son también un subproducto, aunque podrían considerarse un residuo. Los lodos de la digestión anaerobia se utilizan como materia prima para una etapa de compostaje, mezclados probablemente con otros residuos orgánicos para potenciar el desarrollo del proceso de compostaje.

7.4. Residuos

Durante el desarrollo del proceso se producen residuos que deben ser tomados en cuenta y tratados de forma adecuada o enviados al lugar correcto. Los residuos de proceso se producen únicamente en la sección de pretratamiento, cuando se hace la separación de los RSU que entran a la planta. La fracción deseada de los RSU es la orgánica, sin embargo la fracción que se separa, excluyendo los metales ferrosos, son inertes no clasificados y no tiene ninguna utilidad aparente. Debe ser debidamente enviada a un proceso de tratamiento de residuos o a vertedero.

8. Descripción del proceso

8.1. Diagrama de bloques

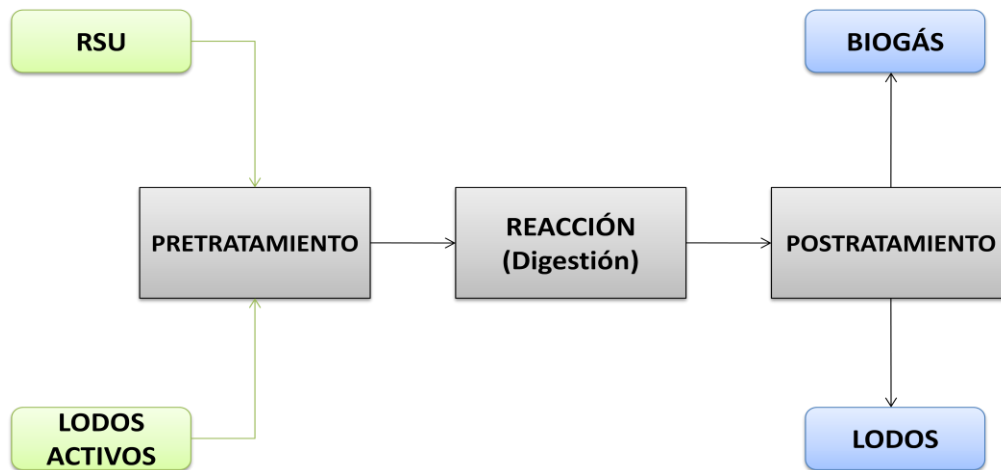


Figura 3-Diagrama de bloques

8.2. Descripción del proceso

8.2.1. Pretratamiento

La etapa de pretratamiento y acondicionamiento de las materias primas tiene una parte en la que sólo se tratan los residuos sólidos urbanos y luego se mezclan con el efluente de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales y se aplica una última etapa de acondicionamiento antes de entrar al reactor.

8.2.1.1. Separación de RSU

A pesar de la recogida selectiva los residuos sólidos urbanos que entran a la planta no son puramente orgánicos, ni tienen el tamaño adecuado para ser tratados en un digestor, ni la humedad suficiente.

Dentro del espectro de residuos inorgánicos que se pueden encontrar en el contenedor de "Húmedo" son especialmente resaltables los metales ferrosos presentes en forma de aceros en los envases y latas de un gran número de productos de alimentación. Son resaltables por su nada despreciable presencia que podría afectar al desarrollo del proceso y por su valor económico. Por otro lado es reseñable la presencia de plásticos en forma de bolsas o

envoltorios, incluyendo en muchos casos la propia bolsa donde se deposita la basura, que puede no ser biodegradable (aunque hay alternativas que sí lo son).

Para esto se propone la utilización de 3 equipos para hacer una línea de separación y acondicionamiento de residuos bastante simple pero en definitiva efectiva.

Por un lado es necesario separar los metales ferrosos, así que un método efectivo y muy utilizado es la separación mediante un imán permanente colocado en la cinta transportadora de tal forma que los metales ferrosos se vean forzados a seguir un camino por una cinta y el resto de residuos siga en el sistema a través de otra cinta distinta.

Por otro lado también es importante que los residuos no tengan un tamaño demasiado grande, para que el proceso de digestión ocurra de forma más fácil y uniforme. Para ello una solución típica y sencilla es la instalación de una trituradora. Como la salida de la trituradora no es totalmente uniforme se utiliza un filtro para recircular por la trituradora aquellos residuos que se hayan quedado con un tamaño superior al deseado. Típicamente para instalaciones de separación de residuos se emplea un filtro rotatorio o trómel.

Además de todo esto es necesario un acondicionamiento de los residuos para hacer que la concentración de materia seca sea entorno al 7 u 8 %. Una vez que se puede trabajar con este slurry es más fácil terminar de separar los inertes pesados y los flotantes precisamente haciéndolo pasar por un tanque donde en la parte superior se acumulen los flotantes (plásticos principalmente) y en la parte inferior se acumulen los inertes pesados. Si se retiran las capas superior e inferior se habrá producido una separación suficientemente efectiva.

8.2.1.2. Acondicionamiento de RSU y lodos de depuradora

Los lodos de depuradora no requieren un pretratamiento así que una vez que se han aplicado las operaciones necesarias para acondicionar los RSU se puede proceder directamente al mezclado de ambas corrientes. Los lodos de depuradora tienen alrededor de un 3-4% de sólidos. Por lo tanto pueden usarse para diluir los RSU y conseguir una corriente de concentración alrededor de 7-8%, idealmente. Con ese valor y las consideraciones tomadas para los RSU, retirar flotantes e inertes pesados, se puede enviar directamente la corriente final ya mezclada a la etapa de reacción, la digestión anaerobia.

8.2.2. Digestión anaerobia

8.2.2.1. Temperatura

La temperatura es un factor determinante para todos los procesos biológicos y la digestión anaerobia no es una excepción. Las etapas de hidrólisis y metanogénesis son las que más acusan las diferentes temperaturas de operación. De hecho la metanogénesis es especialmente sensible a cambios de temperatura por lo que requiere procesos muy estables térmicamente. Se recomienda que los cambios de temperatura no sean mayores de 0,5°C/día.

Además de influir en la actividad metabólica la temperatura tiene mucha influencia en la transferencia de materia entre el líquido y el gas y en la precipitación de los sólidos.

Sin embargo existen diferentes rangos de temperatura de operación para la digestión anaerobia de una sola etapa:

8.2.2.1.1. Digestión mesófila

Ocurre en el rango de temperaturas donde desarrollan su actividad las bacterias mesófilas, entre los 20 y los 50 °C. Concretamente el grupo de bacterias que desarrollan la digestión en este rango de temperaturas tienen su pico de actividad alrededor de los 36 °C.

8.2.2.1.2. Digestión termófila

La actividad de las bacterias, como norma general, se dobla con cada 10 °C que aumente la temperatura del sistema hasta alcanzar un límite. Por tanto la actividad de las bacterias termófilas, entre 50 y 80 grados, será mucho mayor que la de las mesófilas y la digestión se producirá mucho más rápido. El grupo de microorganismos que llevan a cabo la digestión en el rango termófilo tienen sus picos de actividad entre 50 y 57 °C.

Sin embargo operar en este rango de temperaturas requiere un gasto energético sensiblemente mayor, además de ser un proceso menos estable. Además existen métodos de operación en varias etapas que pueden combinar ambos rangos de operación:

8.2.2.1.3. Digestión mesófila en etapas

Los estudios de Torpey y Garber reportan que son pocos los beneficios de usar dos digestores en serie en términos de producción de gas y reducción de compuestos volátiles comparado con la digestión en una sola etapa. Sin embargo es cierto que los lodos producidos por los dos reactores en serie son más estables, menos olorosos y más fácilmente deshidratables.⁷

8.2.2.1.4. Digestión termófila en etapas

En este caso se dispone de un reactor grande seguido de uno o varios más pequeños para reducir agentes patógenos. Además la reducción de sólidos volátiles, indicador de la producción de gas, ronda el 63%, ligeramente superior a la destrucción de volátiles en una sola etapa.

8.2.2.1.5. Digestión termófila en etapas con cambio de temperatura

Este tipo de operación presenta dos etapas, en cada una de las cuales se opera dentro de uno de los dos rangos de temperatura que se plantean. Este tipo de procesos desarrollado en Alemania pretende aunar los beneficios de ambos rangos de operación consiguiendo las ventajas de la operación termófila y mitigando sus desventajas con una etapa mesófila que estabilice el proceso.

El proceso puede organizarse con la etapa mesófila antes de la termófila o con la termófila antes de la mesófila. Dependiendo del orden se han de establecer los tiempos de residencia adecuados para cada reactor. De todos modos la opción más utilizada y estudiada es la que opera primero en régimen termófilo. La etapa de hidrólisis favorecida por la temperatura lleva a una mayor reducción de volátiles y la etapa mesófila, además de aportar más reducción de volátiles, prepara el lodo para un postratamiento más sencillo. En cualquier caso el tiempo de residencia medio del sistema ronda los 15 días, similar al de una operación de etapa única en régimen mesófilo. Sin embargo operando en dos etapas con cambio de temperatura se consigue una destrucción de volátiles del orden de 15 a 20 puntos porcentuales mayor que en el caso de la etapa simple en régimen mesófilo.

⁷ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III*, 4^a ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1531

8.2.2.2. Alcalinidad

La alcalinidad se define como una medida de la capacidad de una disolución para neutralizar ácidos. En la naturaleza la alcalinidad del agua viene dada por la disolución de sales de ácidos débiles, principalmente de rocas carbonatadas. En un digestor anaerobio hay varios factores que consumen alcalinidad: La elevada presión parcial de CO₂ en el gas producido indica que el líquido tendrá una considerable concentración de ión carbonato, fruto de la descomposición del ácido carbónico, que es inestable. Esto consumirá alcalinidad, pero además durante el desarrollo de los procesos metabólicos de los diversos microorganismos implicados también se produce un consumo de alcalinidad. Por este motivo la alcalinidad dentro del reactor es un parámetro difícil de estimar teóricamente. Normalmente para determinar la alcalinidad en el reactor se toman muestras y se analizan. La alcalinidad dentro del reactor debería ser del orden de los 2000 a 5000 gCaCO₃/L.

Para mantener estos niveles de alcalinidad es necesario aportar alcalinidad de algún modo. Típicamente se hace añadiendo carbonato o bicarbonato sódico, o cal viva (CaO).

8.2.2.3. pH

El pH, íntimamente relacionado con la alcalinidad, es una de las propiedades más difíciles de mantener en este tipo de sistemas. El problema es la cantidad de procesos que ocurren al mismo tiempo y que pueden afectar al valor del pH, así como al de la alcalinidad:

Por un lado un fenómeno de transporte de materia fácilmente cuantificable. Sobre el líquido del reactor hay una capa de biogás. El biogás contiene un 35% de CO₂. La concentración del gas estará en equilibrio con una concentración en el líquido. Según la ley de Henry en una situación de equilibrio gas-líquido la cantidad de un componente disuelto en un líquido y la presión parcial de dicho componente en el gas guardan una relación de proporcionalidad directa. La constante de dicha relación, constante de Henry, dependerá del componente, del líquido y de la temperatura.

Por otro lado el proceso de digestión anaerobia es un proceso complejo que incumbe varias reacciones básicamente en serie, aunque también ocurren algunas en paralelo, especialmente en la etapa de formación de metano. Los productos intermedios de estas reacciones (ácidos grasos volátiles) provocarían una bajada del pH del sistema en caso de acumularse. No es

deseable que se acumulen los productos intermedios, así que es importante que se produzca la etapa de formación de metano igual o más rápido que las etapas de formación de ácidos grasos volátiles. Si no fuese así se estaría provocando una acumulación de ácidos grasos volátiles que en última instancia bajarían el pH inhibiendo la etapa de formación de metano, con lo que se acumularían más ácidos grasos volátiles, resultando finalmente en una desestabilización del sistema que llevaría a una parada total del proceso. Los valores de pH no deberían ser inferiores a 6.7 ni superiores a 7.4 para que esta situación no se produzca. Por debajo de 6.5 la actividad metanogénica se detendría dando lugar a una desestabilización total del sistema.⁸

8.2.2.4. Etapas

La digestión anaerobia es el proceso microbiológico mediante el que se descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Como la mayoría de procesos biológicos es un proceso químicamente complejo, pero se puede descomponer en cuatro etapas que tienen lugar de forma simultánea durante la digestión anaerobia: Hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

8.2.2.4.1. Hidrólisis

La hidrólisis es la primera etapa de la digestión. Consiste en descomponer los compuestos complejos (polímeros) que contiene la materia orgánica en forma de partículas para obtener compuestos más simples que sirvan como sustrato para el resto de microorganismos. Esta tarea la llevan a cabo las enzimas que segregan los denominados microorganismos hidrolíticos. A grandes rasgos: las lipasas transforman los lípidos en ácidos grasos y glicerol, los polisacáridos pasan a ser monosacáridos por acción de enzimas como la celulasa, la amilasa o la xilanasas y las proteasas descomponen las proteínas en aminoácidos. Y así se consiguen sustratos útiles para las siguientes etapas de la digestión.

⁸ FRANCO, A., MOSQUERA-CORRAL, A., CAMPOS, J.L., ROCA, E., (2007) "Learning to Operate Anaerobic Bioreactors", *Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology*, Vol. II, A. Mendez-Vilas (Ed.), pp. 618-627

8.2.2.4.2. Acidogénesis

Es la segunda etapa de la digestión, muy íntimamente relacionada con la acetogénesis. De hecho hay autores que consideran ambos procesos una única etapa. La acidogénesis toma como sustratos los resultantes de la hidrólisis y produce compuestos metanogénicos, es decir, que puedan ser usados por los microorganismos metanogénicos. Así toma los azúcares simples, los aminoácidos y los ácidos grasos y los transforma mayoritariamente en acetato, dióxido de carbono e hidrógeno. Sin embargo alrededor de un 30% del resultado no está formado por estos compuestos sino que ha seguido otro proceso de transformación para dar lugar a ácidos grasos volátiles (AGV) y alcoholes. Los AGV y los alcoholes no son sustancias metanogénicas, pero ahí entra en juego la tercera etapa.

8.2.2.4.3. Acetogénesis

En esta etapa los ácidos grasos volátiles y los alcoholes son transformados en H_2 , CO_2 y acetato, que son sustancias útiles para las bacterias metanogénicas. La presencia de hidrógeno que originan tanto esta etapa como la anterior es un problema para el normal desarrollo de la acetogénesis. El hidrógeno funciona como inhibidor de las bacterias acetogénicas. Durante la metanogénesis se consume hidrógeno para formar metano, así que se puede decir que los microorganismos metanogénicos y acetogénicos funcionan en simbiosis: Las bacterias acetogénicas producen hidrógeno, pero una concentración mayor de 10^{-4} atm provocaría la inhibición de la propia acetogénesis.⁹ Las bacterias metanogénicas necesitan ese hidrógeno y además al retirarlo del ambiente impiden que actúe como inhibidor de la acetogénesis.

8.2.2.4.4. Metanogénesis

Es la última de las etapas de la digestión. En esta etapa se consumen el acetato, el hidrógeno y el CO_2 producido durante las etapas anteriores y se consigue como resultado metano, CO_2 y agua. El 70% del metano producido proviene de la descomposición del acetato por microorganismos metanógenos acetoclastas y produce, además de metano, CO_2 . La otra ruta de producción de metano la desarrollan otro grupo de microorganismos que usan como sustratos el hidrógeno y el CO_2 presentes en el ambiente para producir CH_4 y agua.

⁹ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol II*, 4^a ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.630

La metanogénesis es una etapa sensible a los cambios ambientales: una sobrecarga del reactor, cambios de temperatura o presencia de alta concentración de oxígeno puede provocar la interrupción de la metanogénesis.

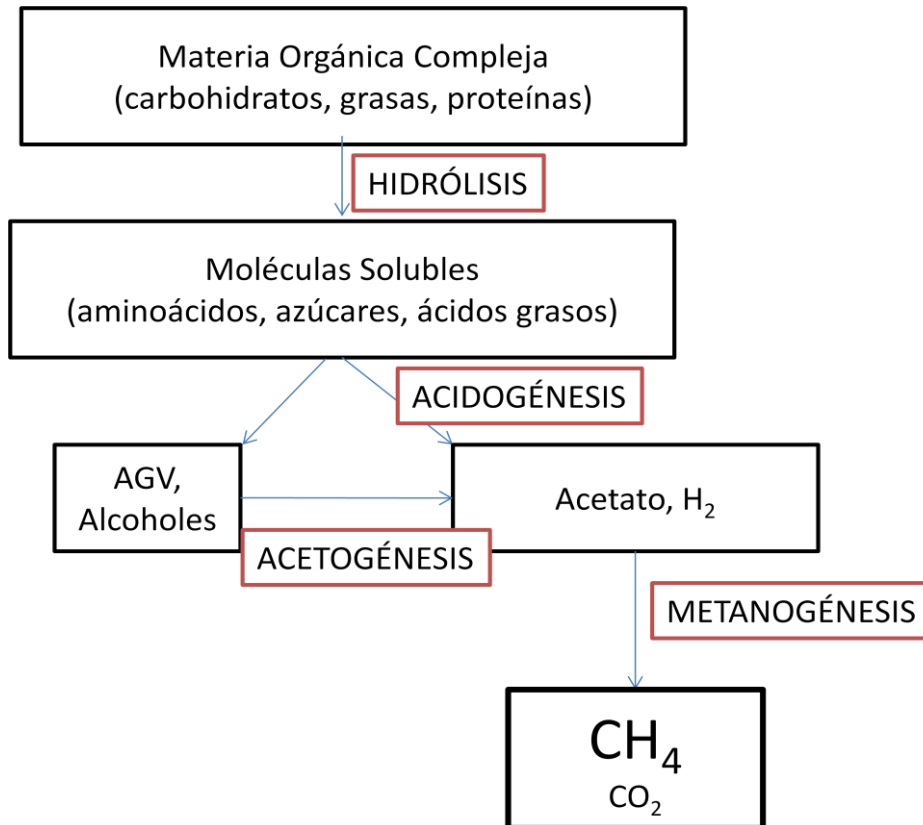


Figura 4 - Esquema simple de la relación entre las 4 etapas de la digestión

8.2.3. Postratamiento

El postratamiento que puede ser necesario se diferencia en dos grupos, uno para cada producto de la planta: por un lado el biogás y por otro los lodos de la digestión anaerobia.

8.2.3.1. Biogás

Las etapas de postratamiento dependen de la calidad del biogás que se obtenga, que a su vez dependerá fundamentalmente de la composición de la materia orgánica de entrada y del tipo de digestión anaerobia que se lleve a cabo.

La calidad del biogás se expresa en este caso en términos de presencia de componentes que sea necesario eliminar antes de dar uso al biogás en una central de cogeneración. En este caso

el componente principal que hay que controlar es el SH_2 . No sólo puede suponer un problema ambiental sino que puede resultar corrosivo y deteriorar los materiales de la instalación.

En caso de ser necesario un postratamiento que elimine SH_2 existen varias posibilidades:

Una opción más tradicional que consiste en poner en contacto el gas con una solución de aminas (MEA, DEA, TEA). Después sería necesaria una etapa de recuperación de las aminas (Proceso Claus) de la cual saldría azufre elemental. Éste es el método que se emplea en grandes instalaciones para la eliminación de sulfuros en corrientes gaseosas, por ejemplo, en la desulfuración de corrientes gaseosas como producto del proceso de refinado de petróleo.

La otra opción que tiene mucho peso en este tipo de procesos sería la instalación de un biofiltro, que consiste principalmente en hacer pasar el biogás por un lecho de materia orgánica, típicamente cáscara de pino, donde crecen microorganismos que consumen el H_2S que pueda contener la corriente de biogás.

8.2.3.2. Lodos

La salida de lodos del reactor es un slurry con un contenido en materia seca alrededor del 4 o 5 %, muy similar a la concentración de la entrada. Si la perspectiva es mandar estos lodos a una etapa de compostaje no pueden enviarse así, es necesario deshidratarlos. Un valor típico de concentración de materia seca antes de esta etapa de compostaje es alrededor del 20%. Será necesario un filtro para efectuar esa operación.

9. Descripción de la instalación

9.1. Capacidad

Al tratarse de una planta de revalorización de residuos su capacidad no estará basada en una necesidad de producción sino en la necesidad de tratar todos los residuos (lodos y fracción orgánica de RSU) que se produzcan. De este modo la capacidad de la planta vendrá determinada básicamente por la capacidad de la planta de tratamiento de aguas. El hecho de que los RSU se utilicen como cosustrato implica una necesidad de existencia de RSU para un correcto funcionamiento de la planta, pero no va a determinar su capacidad.

Por lo tanto, sabiendo que la planta de depuración está diseñada para tratar las aguas residuales de 70000 habitantes equivalentes. La salida de lodos de la planta de depuración, que a su vez es la entrada de la planta de digestión anaerobia, está entre 80 y 90 m³/d.¹⁰ Y la fracción orgánica de los RSU llega a la planta con un caudal másico de algo más de 23 toneladas/d. Para los cálculos se utilizará un valor medio del caudal de lodos, 85 m³/d y 23.66 T/d de fracción orgánica de RSU. El caudal de residuos necesario se calcula en el anexo I de Balance de materia, para conseguir una concentración adecuada de materia seca en la entrada del reactor.

9.2. Equipos

9.2.1. Pretratamiento

9.2.1.1. Almacenamiento de RSU sin procesar

Dado que la llegada de residuos a la planta tiene lugar en régimen discontinuo existe una necesidad de almacenamiento de RSU sin procesar para permitir que los equipos del pretratamiento de RSU puedan funcionar, aunque también en discontinuo, procesando de una sola vez todos los RSU necesarios para cada día. Por lo tanto este tanque de almacenamiento permite almacenar todos los residuos que se necesitan alimentar a la planta a lo largo de un día.

9.2.1.2. Trituradora

El objetivo de este equipo es básicamente la reducción y uniformización del tamaño de los RSU. Tanto para la separación magnética como para la propia digestión anaerobia, la uniformidad del tamaño de las partículas es beneficiosa para la controlabilidad y estabilidad del proceso. Además en el caso de la digestión anaerobia existe una relación entre el tamaño de las partículas y la producción de biogás.

¹⁰ BOLZONELLA, D., BATTISTONI, P., SUSINI, C., CECCHI, F., (2006) "Anaerobic codigestion of waste activated sludge and OFMSW: the experiences of Viareggio and Treviso plants (Italy)", *Water Science & Technology*, Vol 53, No 8, pp 203–211

9.2.1.3. Trommel

Este equipo es básicamente un filtro cilíndrico giratorio. Los residuos triturados pasarán por este filtro de modo que los que tengan el tamaño deseado, o inferior, se colarán por el tamiz, y los que sean demasiado grandes volverán a ser procesados por la trituradora.

Este es un equipo cilíndrico que gira en torno al eje longitudinal del cilindro, así que es necesario darle una cierta inclinación al equipo para que los sólidos se desplacen por gravedad. Esta consideración normalmente ya viene especificada e incluso ejecutada por el fabricante.

9.2.1.4. Separador Magnético

El separador magnético retirará de la corriente de proceso aquellas partículas que estén compuestas por hierro o metales ferrosos. El motivo es principalmente para no procesarlas, pues no son beneficiosas para el proceso y pueden dañar algunos equipos. El separador magnético que se propone consta de un imán fijo rodeado de una cinta que gira alrededor de todo el equipo. Al pasar la corriente por debajo de este equipo las partículas ferrosas se verán atraídas por el imán y transportadas por la cinta. Al llegar al final del equipo el imán ya no atrae a las partículas y estas caen, pero ya encauzadas de modo que sean recogidas en un contenedor.

El separador magnético debe estar colgado encima de una cinta transportadora por la que discurrirán los residuos.

9.2.1.5. Almacenamiento de RSU pretratados

Para poder hacer el pretratamiento de residuos de forma discontinua y la alimentación de forma continua es necesario un tanque de almacenamiento que, de nuevo, almacene todos los residuos necesarios para el funcionamiento de la planta durante un día completo.

9.2.2. Reacción

9.2.2.1. Digestor

El reactor, o digestor, es la unidad donde los sólidos volátiles se verán transformados en biogás por acción de varios grupos de microorganismos. Este es el equipo principal del proceso. Está construido en cemento salvo la cubierta, que presenta un sistema de doble membrana que permite un caudal constante de salida de biogás, lo que facilita el tratamiento posterior. Al mismo tiempo el espacio contenido dentro de la membrana funciona como un sistema de almacenamiento de biogás, permitiendo operar sin necesidad de un tanque de almacenamiento externo.

El sistema de mezcla en este reactor es un sistema de eyección. Parte del contenido del reactor tiene que ser recirculado para calentarlo y compensar las pérdidas de calor por las paredes. Aprovechando ese caudal se instala un sistema de jets que reintroducen la corriente en el reactor haciendo que ésta arrastre el líquido que rodea a los dispositivos de eyección provocando así un buen grado de mezcla.

9.2.2.2. Intercambiador de calor

Los intercambiadores seleccionados para esta planta son intercambiadores de espiral. En la sección de diseño de los intercambiadores se explica de manera más detallada por qué se selecciona este tipo de intercambiador, pero básicamente el motivo es que los demás intercambiadores resultaban poco adecuados por ineficientes. Los intercambiadores de espiral se caracterizan por tener elevados coeficientes de transmisión de calor, y además se dice que se autolimpian. Se dice eso porque la propia dinámica del flujo dentro del intercambiador de espiral hace que el fluido de proceso esté continuamente "chocando" contra las paredes del intercambiador, arrastrando así cualquier partícula que se deposite y haciendo más difícil que se llegue a producir un ensuciamiento considerable.

Dados los fluidos de proceso que se tratan en esta planta, aunque podrían ser más sucios, no son precisamente limpios esta elección parece la adecuada.

9.2.3. Postratamiento

9.2.3.1. Filtro banda

El funcionamiento de este filtro consiste en hacer pasar el fluido de proceso entre dos piezas de tela en continuo movimiento de forma que cada vez se aprieten más entre sí mediante un sistema de rodillos. Así se consigue que el exceso de agua atraviese la tela, dando lugar a una corriente de filtrado, y por otro lado dando lugar a una torta, más concentrada en sólidos que la entrada.

Normalmente se dosifica una determinada cantidad de un polímero que promueve la coagulación del fluido de proceso, de modo que los sólidos tienden a agregarse entre sí, facilitando la tarea del filtrado.

9.2.3.2. CHP

La función de la planta de cogeneración es básicamente el aprovechamiento energético del biogás que se produce en el digestor. El biogás como tal podría ser comercializado, sin embargo en este momento es más adecuado convertirlo en energía eléctrica y calorífica y abastecer así el propio proceso de digestión anaerobia y, en todo caso, inyectar el excedente de energía, si lo hubiera, en la red eléctrica nacional, produciendo ingresos.

9.3. Seguridad y salud

9.3.1. Sustancias peligrosas

La única sustancia que se maneja en la planta que puede ser considerada peligrosa es el metano. En el Anexo V se adjunta la ficha de seguridad del metano. Allí se caracteriza el metano como "Extremadamente inflamable" y se advierte que la mezcla metano/aire puede ser explosiva.

9.3.2. Seveso III

Desde el 1 de junio de 2015 está en vigor la Directiva Seveso III, que sustituye a la Seveso II. En el Anexo I se explicitan los criterios que cumplen las plantas que se clasifican como Seveso III, en forma de presencia de una determinada cantidad de unas determinadas sustancias.

Las normas de etiquetado han cambiado, estando vigente ahora, con la nueva directiva, el Reglamento (CE) no 1272//2008, conocido como reglamento REACH.

Esta planta no estaría categorizada como Seveso II por no alcanzar el umbral determinado en el Anexo I de esa Directiva.

Para clasificar la sustancia en la nueva Directiva es necesario conocer la caracterización que tiene dicha sustancia en el Reglamento REACH, y para ello es necesaria una ficha de seguridad que explicita dicha clasificación.

En el Anexo V se incluye también la ficha de seguridad correspondiente a metano comprimido expedida por el grupo Linde.¹¹

El metano comprimido es la sustancia comercial más similar al metano que se encontrará. En esa ficha caracterizan al metano como extremadamente inflamable, englobándolo como un gas inflamable de categoría 1. Con esa caracterización para no ser considerada una instalación Seveso III debe haber menos de 10 toneladas de metano almacenadas en la planta.

El principal almacén de biogás, que es la mezcla donde se encuentra el metano, es la cubierta semiesférica del digestor, que como mucho alberga un volumen equivalente a la semiesfera, del diámetro del digestor. Eso equivale a unos 900 m³. Utilizando una densidad de 1.08 kg/m³ para el biogás se obtiene una masa de apenas 1000 kg. De ese modo, ni siquiera considerando la mezcla como una sustancia pura y aunque se tuviese en cuenta que parte del cuerpo del reactor puede estar ocupado por biogás, está lejos del umbral para ser considerada una instalación Seveso III.

¹¹ Obtenida en http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Compressed%20Methane17_24362.pdf (13/06/2015)

9.3.3. Disposición en planta

Los equipos que se manejan no son equipos típicos en instalaciones de industria química, por lo que las distancias de seguridad recogidas en la bibliografía apenas aplican a las situaciones que se dan en esta planta. En cualquier caso, con aquellos equipos que no se ven amparados por esas distancias de seguridad de la bibliografía, se ha actuado cautelosamente, dejando distancias suficientes para labores de mantenimiento y para la normal circulación por la planta.

ANEXO I - Balances de materia

1. Pretratamiento

Para hacer un balance de materia preliminar es necesario conocer las características de las materias primas que llegan a la planta, es decir, de los lodos de depuradora y de la fracción orgánica de los RSU de la municipalidad de Treviso.

Tabla 1 - Características de los lodos de depuradora y la fracción orgánica de RSU a la entrada de la planta¹²

	Average	Min.	Max.	Std.Dev
<i>Waste activated sludge</i>				
TS, g/kg w.w.	37.5	35.1	38.6	1.37
TVS, g/kg w.w.	23.2	22.7	24.3	0.66
COD, g/kg w.w.	21.6	19.5	24.7	1.96
TKN g/kg w.w.	1.7	1.5	1.8	0.11
<i>Biowaste</i>				
TS, g/kg w.w.	224.1	208.0	243.0	14.38
TVS, g/kg w.w.	189.3	175.0	209.6	14.98
COD, g/kg w.w.	207.8	172.5	233.0	27.09
TKN, g/kg w.w.	6.4	5.4	6.9	0.69

Los caudales de ambas entradas son los siguientes:¹³

- Lodos activos: 85 m³/día
- FORSU: Es necesario calcularlo

Y los caudales medios de sólidos y de volátiles de cada una de las entradas se calculan atendiendo a la Tabla 1:

- Lodos activos
- Sólidos totales:

¹² BOLZONELLA, D., CAVINATO, C., CECCHI, F., FANTONE, F., PAVAN, P., (2013) "Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot- and full-scale reactors", *Renewable Energy*, nº 55 pp. 260-265

¹³ BOLZONELLA, D., BATTISTONI, P., SUSINI, C., CECCHI, F., (2006) "Anaerobic codigestion of waste activated sludge and OFMSW: the experiences of Viareggio and Treviso plants (Italy)", *Water Science & Technology*, Vol 53, No 8, pp 203–211

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

$$85 \frac{m^3}{d} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{37.5}{1000} \frac{kgST}{kg p. h.} = 3187.5 \frac{kgST}{d}$$

Sólidos volátiles totales:

$$85 \frac{m^3}{d} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{23.2}{1000} \frac{kgSVT}{kg p. h.} = 1972.00 \frac{kgSVT}{d}$$

- Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (Base: 1 kg de sólidos húmedos)

Sólidos totales:

$$\frac{224.1}{1000} \frac{kgST}{kg p. h.} = 0.2241 \frac{kgST}{kg p. h.}$$

Sólidos volátiles totales:

$$\frac{189.3}{1000} \frac{kgSVT}{kg p. h.} = 0.1893 \frac{kgSVT}{kg p. h.}$$

Ya en el pretratamiento de la FORSU se retiran parte de los residuos que no llegarán a la etapa de reacción. Concretamente los metales ferrosos.

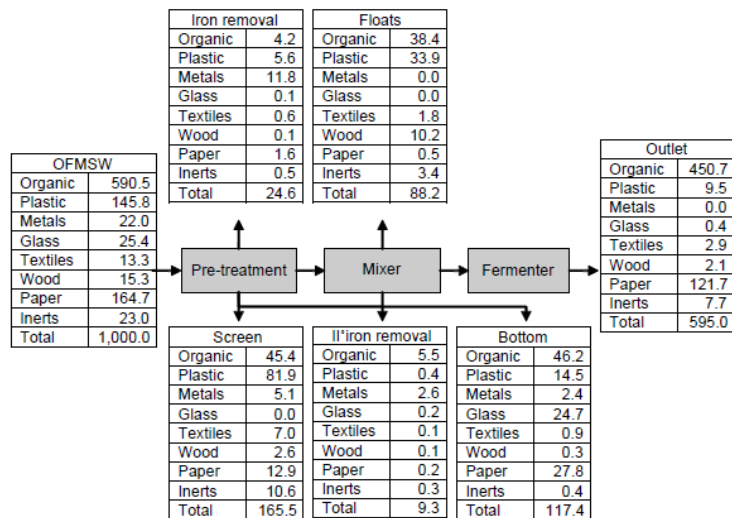


Figura 5 - Balance de materia de la línea de selección de residuos de la planta de tratamiento de aguas de Treviso (base: 1000 kg de sólidos húmedos)

Según la figura (**numero**) se pueden retirar hasta 14.4 kg de metales ferrosos por cada tonelada de sólidos húmedos. En la figura lo hacen en dos etapas así que sería el resultado de sumar los metales de "Iron removal" y "II iron removal". Si se retira esa cantidad de metales

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

ferrosos, que se asume que no contienen apenas humedad, variará la concentración de materia seca. De este modo, siguiendo con la base de 1 kg de sólidos húmedos de entrada a la planta:

Sólidos totales:

$$0.2241 \frac{kgST}{kg p. h.} - 0.0144 \frac{kg \text{ metales ferrosos}}{kg p. h.} = 0.2097 \frac{kg ST}{kg p. h.}$$

Sólidos volátiles totales:

$$\frac{189.3 \text{ kgSVT}}{1000 \text{ kg p. h.}} = 0.1893 \frac{kgSVT}{kg p. h.}$$

El resultado de la mezcla de 85 toneladas/día de lodos activos con una cantidad por determinar de residuos sólidos acondicionados debe ser una corriente con un 7.5% de sólidos.

Por lo tanto:

$$\frac{85000 \frac{kg \text{ lodos}}{d} \cdot 0.0375 \frac{kg ST}{kg \text{ lodos}} + M_{FORSU} \cdot 0.2097 \frac{kg ST}{kg FORSU}}{(85000 + M_{FORSU}) kg \text{ mezcla}} = 0.075 \frac{kg ST}{kg \text{ mezcla}}$$

$$M_{FORSU \text{ entrada}} = \frac{85000 \cdot (0.075 - 0.0375)}{(0.2097 - 0.075)} = 23663.70 \frac{kg FORSU}{d}$$

De esta manera los caudales de la corriente de FORSU que va a mezcla quedan:

- Caudal másico de FORSU:

$$M_{FORSU \text{ mezcla}} = 23663.70 \cdot (1 - 0.0144) = 23322.94 \frac{kg FORSU}{d}$$

- Sólidos totales:

$$23663.70 \frac{kg FORSU}{d} \cdot 0.2097 \frac{kg ST}{kg FORSU} = 4962.28 \frac{kg ST}{d}$$

- Sólidos volátiles totales:

$$23663.70 \frac{kg FORSU}{d} \cdot 0.1893 \frac{kg SVT}{kg FORSU} = 4479.54 \frac{kg SVT}{d}$$

La corriente de retirada de metales ferrosos es de:

$$M_{ferrosos} = 23663.70 \cdot 0.0144 = 340.76 \text{ kg/d}$$

Se considera que los metales ferrosos no contienen humedad y que están compuestos por sólidos no volátiles.

Y la mezcla con la corriente de lodos activos da como resultado:

- Caudal másico de la mezcla:

$$23663.70 \frac{\text{kg FORSU}}{d} + 85000 \frac{\text{kg lodos activos}}{d} = 108663.70 \frac{\text{kg mezcla}}{d}$$

- Sólidos totales:

$$4962.28 \frac{\text{kg } ST_{FORSU}}{d} + 3187.5 \frac{\text{kg } ST_{lodos \text{ activos}}}{d} = 8149.78 \frac{\text{kg } ST_{mezcla}}{d}$$

- Sólidos volátiles totales:

$$4479.54 \frac{\text{kg } SVT_{FORSU}}{d} + 1972.00 \frac{\text{kg } SVT_{lodos \text{ activos}}}{d} = 6451.54 \frac{\text{kg } SVT_{mezcla}}{d}$$

Además antes de enviar esta corriente al apartado de digestión se hace una última separación donde en el tanque de mezcla separación se retira un 10% de la parte superior y un 10% de la parte inferior para retirar así los sólidos flotantes y los inertes pesados. Se considera que la corriente está completamente mezclada en el sentido de que al retirar un 20% en total entre la parte de flotantes y la de pesados se está retirando un 20% del caudal de todos los componentes. Así la alimentación al reactor resulta:

- Caudal másico de alimentación al reactor:

$$108663.70 \frac{\text{kg}}{d} \cdot 0.8 = 86930.96 \frac{\text{kg}}{d}$$

- Sólidos totales:

$$8149.78 \frac{kg\ ST}{d} \cdot 0.8 = 6519.82 \frac{kg\ ST}{d}$$

- Sólidos volátiles totales:

$$6451.54 \frac{kg\ SVT}{d} \cdot 0.8 = 5161.23 \frac{kg\ SVT}{d}$$

2. Etapa de reacción

Las características de las corrientes de salida de la etapa de reacción dependerán de la actividad biológica que haya en el digestor. Se estima el volumen de metano producido basándose en la siguiente correlación¹⁴:

$$V_{CH_4} = (0.35)[(S_0 - S)(Q)(10^3 g/kg)^{-1} - 1.42 \cdot P_x] \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

V_{CH_4} = Volumen de metano producido en condiciones estándar (0°C y 1 atm), m³/d

S_0 = bDQO en el influente, mg/L

S = bDQO en el efluente, mg/L

Q = Caudal, m³/d

P_x = masa neta de tejido celular producido por día, kg/d

El término $(S_0 - S)$ expresa la cantidad de DQO que se consume durante la digestión. Este concepto está relacionado con la cantidad de sólidos volátiles que se eliminan en esta etapa. Existe una correlación empírica para la estimación de sólidos volátiles destruidos¹⁵:

$$V_d = 13.7 \cdot \ln(TRS_{diseño}) + 18.9 \quad \text{Ec. 2}$$

¹⁴ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III*, 4^a ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1510

¹⁵ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol II*, 4^a ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1513

Donde:

V_d = % destrucción de sólidos volátiles

TRS= tiempo de retención de sólidos, d (rango de 15 a 20 días)

Tabla 2 - TRS mínimo y de diseño en función de la temperatura de operación¹⁶

T de operación °C	TRS mínimo(días)	TRS diseño(días)
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

El TRS se puede estimar según la Tabla 2 En el caso de la operación a temperaturas mesófilas, por encima de 35 °C, el TRS mínimo es en todo caso 4 días, y el TRS de diseño es 10 días.

Con este resultado no se puede aplicar la ecuación 2 ya que el TRS de diseño no llega a 15 días. La alternativa que se propone es utilizar la tabla que se adjunta a continuación:

Tabla 3 - Porcentaje de reducción de volátiles en función del TRS¹⁷

Tiempo de digestión (d)	% destrucción de sólidos volátiles
30	65
20	60
15	56

Para extrapolar estos datos a un TRS de se hace un ajuste a una función potencial:

¹⁶ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III, 4^a ed.*, Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1511

¹⁷ Adaptado de Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III, 4^a ed.*, Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1514

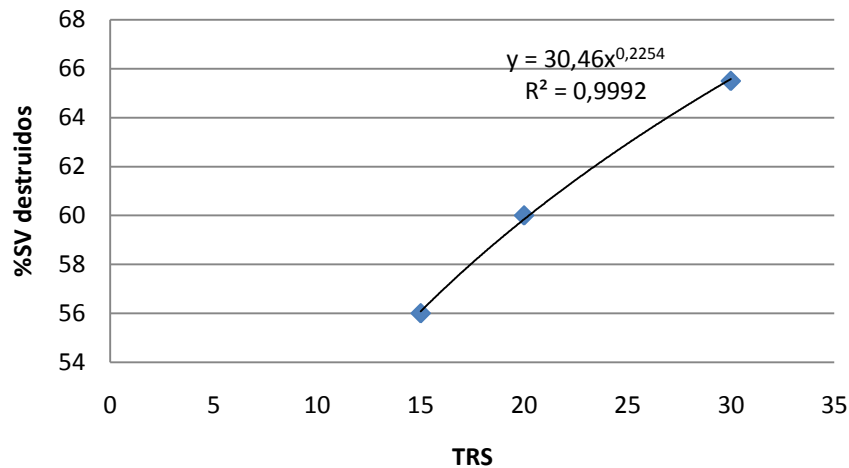


Figura 6 - Ajuste de los datos de la tabla 3 a una función potencial

Según la figura 6 el TRS y el % de sólidos volátiles destruidos se relacionan según la expresión:

$$\%SV \text{ destruidos} = 30.46 \cdot TRS^{0.2254} \quad \text{Ec. 3}$$

Así que el porcentaje de sólidos volátiles destruido que corresponde a un TRS de 10 días es:

$$\%SV \text{ destruidos} = 30.46 \cdot 10^{0.2254} = 51.18 \%$$

Una vez conocido este dato hay que relacionarlo con la cantidad de DQO que se elimina para poder así calcular el volumen de metano producido.

La relación kg DQO/kg SV de los lodos de depuradora es 0.9.¹⁸ Por otro lado la relación DQO/SV en la FORSU ya acondicionada es de 1. Calculando la relación de la mezcla:

$$\frac{DQO}{SV} \text{ mezcla} = \frac{SV_{\text{lodos}} \cdot \frac{DQO}{SV} \text{ lodos} + SV_{\text{FORSU}} \cdot \frac{DQO}{SV} \text{ FORSU}}{SV_{\text{total}}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\frac{DQO}{SV} \text{ mezcla} = \frac{1972 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \cdot 0.9 \frac{\text{kgDQO}}{\text{kgSV}} + 4479.54 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \cdot 1 \text{ kgDQO/kgSV}}{6451.54 \frac{\text{kg}}{\text{d}}} = 0.9694 \frac{\text{kgDQO}}{\text{kgSV}}$$

¹⁸ BOLZONELLA, D., CAVINATO, C., CECCHI, F., FANTONE, F., PAVAN, P., (2013) "Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot- and full-scale reactors", *Renewable Energy*, n° 55 p. 261

Por lo tanto la cantidad de DQO que se elimina se calcula en función de los sólidos volátiles destruidos:

$$DQO_{eliminada} = SV_{eliminados} \cdot 0.9694 \frac{kgDQO}{kgSV} = SV_{influyente} \cdot \frac{\%SV_{eliminados}}{100} \cdot 0.9694 \quad \text{Ec. 5}$$

$$DQO_{eliminada} = 5161.23 \frac{kgSV}{d} \cdot \frac{51.18\%}{100} \cdot 0.9694 = 2560.69 \frac{kgDQO_{eliminada}}{d}$$

Ahora sólo falta calcular la productividad celular para tener todos los términos de la ecuación (número) y calcular así el volumen de metano producido.

La masa neta de tejido celular producido por día, P_x , se puede calcular siguiendo esta correlación¹⁹:

$$P_x = \frac{Y \cdot Q \cdot (S_0 - S)}{1 + k_d \cdot TRS} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

Y = coeficiente de rendimiento, gSVS/gbDQO

k^d = coeficiente endógeno, d^{-1}

TRS = Tiempo de retención de sólidos, d

¹⁹ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III, 4^a ed.*, Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1510

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

Tabla 4 - Valores típicos para las variables de diseño de un digestor anaerobio.²⁰

Parámetro	Unidad	Valor	
		Rango	Típico
Rendimiento de sólidos, Y			
Fermentación	gSVS/gDQO	0.06 - 0.12	0.10
Metanogénesis	gSVS/gDQO	0.02 - 0.06	0.04
Combinada	gSVS/gDQO	0.05 - 0.10	0.08
Coeficiente de decaimiento, k_d			
Fermentación	g/g·d	0.02 - 0.06	0.04
Metanogénesis	g/g·d	0.01 - 0.04	0.02
Combinada	g/g·d	0.02 - 0.04	0.03
Velocidad específica de crecimiento máxima, μ_m			
35 °C	g/g·d	0.30 - 0.38	0.35
30 °C	g/g·d	0.22 - 0.28	0.25
25 °C	g/g·d	0.18 - 0.24	0.20
Constante de velocidad, K_s			
35 °C	mg/L	60 - 200	160
30 °C	mg/L	300 - 500	360
25 °C	mg/L	800 - 1100	900
Metano			
Producción	m ³ /kgDQO	0.4	0.4
Densidad	kg/m ³	0.6346	0.6346
Contenido del gas	%	60 - 70	65

Aplicando así la ecuación 6 con los valores medios de la tabla 4:

$$P_x = \frac{0.08 \frac{gVSS}{gDQO} \cdot 2560.69 \frac{kgDQO}{d}}{1 + 0.03 \frac{g}{g \cdot d} \cdot 10} = 157.58 \text{ kg/d}$$

Y así se puede aplicar la ecuación 1:

$$V_{CH_4} = (0.35)[2560.69 - 1.42 \cdot 157.58] = 817.92 \frac{m^3}{d}$$

Este resultado está adaptado para una temperatura de 0 °C y una presión de 1 atm. En el reactor, a 36 °C, el volumen será distinto. Aplicando la ley de los gases ideales:

²⁰ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol II*, 4^a ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1000

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde las temperaturas están el Kelvin. Así, a 36 °C:

$$V_1 = \frac{V_0}{T_0} T_1 = \frac{817.92 \frac{m^3}{d}}{273.15 K} \cdot (36 + 273.15) K = 925.82 \frac{m^3}{d}$$

Asumiendo que el biogás producido por digestión anaerobia tiene un porcentaje de metano del 65% el caudal de biogás producido es de:

$$V_{biogás} = \frac{V_{CH_4}}{0.65} = \frac{925.82 \frac{m^3}{d}}{0.65} = 1424.33 \frac{m^3}{d}$$

Pasando los datos de volumen a caudales máxicos de cada componente:

$$M_{CH_4} = \frac{P \cdot V \cdot M_M}{R \cdot T} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 817.92 \cdot 10^3 \frac{L}{d} \cdot 16 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{mol}}{0.082 \frac{atm \cdot L}{mol \cdot K} \cdot 273.15 K} = 584.34 \frac{kg CH_4}{d}$$

$$M_{CO_2} = \frac{P \cdot V \cdot M_M}{R \cdot T} = \frac{1 \text{ atm} \cdot \left(\frac{817.92}{0.65} \cdot 0.35\right) \cdot 10^3 \frac{L}{d} \cdot 44 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{mol}}{0.082 \frac{atm \cdot L}{mol \cdot K} \cdot 273.15 K} = 865.27 \frac{kg CO_2}{d}$$

$$M_{biogás} = M_{CO_2} + M_{CH_4} = 584.34 + 865.27 = 1449.60 \frac{kg \text{ biogás}}{d}$$

Para calcular la cantidad de lodos que se producen y su composición hay que hacer un balance a la etapa de reacción, de tal modo que la masa de lodos será igual a la masa entrante menos la masa que se retira en forma de biogás:

$$M_{lodos} = M_{influyente} - M_{biogás} \quad \text{Ec. 8}$$

$$M_{lodos} = 86930.96 \frac{kg}{d} - 1449.60 \frac{kg}{d} = 85481.36 \text{ kg/d}$$

Y de igual manera, los sólidos volátiles serán los que entran menos los que se eliminan para la formación de biogás:

$$SVT_{lodos} = SVT_{entrada} \cdot \left(1 - \frac{51.18}{100}\right) = 5161.23 \cdot 0.4882 = 2519.53 \frac{kg\ SVT}{d}$$

La producción de tejido celular implica producción de sólidos pero los nutrientes utilizados para producir ese tejido ya provenía de los sólidos de la corriente de entrada, por lo tanto el balance en términos de sólidos totales no varía con ese proceso. La cantidad de sólidos totales, por tanto, se ve afectada únicamente por la eliminación de sólidos volátiles, de ese modo:

$$\begin{aligned} ST_{lodos} &= ST_{entrada} - SVT_{entrada} + SVT_{lodos} = 6519.82 - 5161.23 + 2519.53 \\ &= 3878.12 \frac{kg}{d} \end{aligned}$$

3. Postratamiento

Los lodos del digestor anaerobio son tratados en un filtro de banda para reducir la humedad hasta obtener una corriente con un 20% de sólidos. Esta sigue siendo una corriente muy diluida y no sería para nada óptima para compostar directamente. El motivo de necesitar una humedad tan elevada es que los lodos anaerobios típicamente se mezclan con paja para mejorar la relación C/N y así favorecer el compostaje. Si se envía una corriente con un elevado porcentaje de materia seca al mezclarla con paja se escaparía del rango de humedad óptimo.

Por lo tanto del filtro saldrían dos corrientes: una con un 20% de sólidos y una con agua limpia de sólidos:

Corriente de sólidos:

$$M_{torta} = \frac{ST_{lodos}}{0.2} = \frac{3878.12}{0.2} = 19390.62 \frac{kg}{d}$$

Corriente de filtrado:

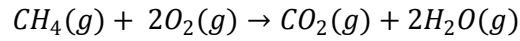
$$M_{filtrado} = M_{lodos} - M_{torta} = 85481.36 - 19390.62 = 66090.74 \frac{kg}{d}$$

Por otro lado si se producen 817.92 m³/d de metano a 0 °C y 1 atmósfera, eso son:

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 \cdot 817920}{0.082 \cdot 273.15} = 36517.05 \frac{\text{mol } CH_4}{d}$$

Y de la combustión de ese metano genera CO₂ y H₂O:



Se generan los mismos moles de CO₂ y el doble de H₂O, que resultan ser 1606.75 kgCO₂/d y 1314.61 kgH₂O/d.

Para ello se consumen el doble de moles de oxígeno, que provienen del aire. En total se consumen:

$$\frac{36517.05 \cdot 2}{0.21} = 347781.43 \text{ mol aire}$$

Con una masa molecular media para el aire de 29:

$$347781.43 \cdot \frac{29}{1000} = 10085.66 \text{ kg aire/día}$$

Y el CO₂ que formaba biogás con el metano tiene un caudal de:

$$m = \frac{36517.05}{0.65} \cdot 0.35 \cdot 44 \cdot \frac{1}{1000} = 865.27 \text{ kg/d}$$

Por tanto la salida de gases de combustión tiene un caudal másico de:

$$m = 1606.75 + 1314.61 + 10085.66 \cdot 0.79 + 865.27 = 13872.29 \text{ kg/día}$$

ANEXO II - Balances de energía

El punto clave de los balances de energía son los dos intercambiadores E-201 y E-202 La corriente de alimentación al reactor, la corriente que se va a calentar en ambos intercambiadores, tiene un caudal másico de 86930.96 kg/d. Y la corriente de salida del reactor es de 36 °C, que es la temperatura a la que se desarrolla la reacción.

1. Intercambiador E-201

El primer intercambiador utiliza la corriente de lodos recién salida del reactor para precalentar la alimentación. La corriente de lodos antes del filtrado tiene un caudal másico de 85481.52 kg/d a una temperatura de 36 °C.

La temperatura de la corriente de entrada será equivalente a la temperatura de los lodos de planta de tratamiento de aguas residuales. Además se asume que la temperatura de los lodos de planta están a la misma temperatura que el río. La temperatura del agua del río es, a priori, desconocida, pero puede estimarse como la temperatura húmeda de la localidad de Treviso. Para ello es necesario conocer la temperatura ambiente y la humedad de esa zona.

Tabla 5 - Temperatura y humedad en la localidad de Treviso. Datos medios de los últimos 30 años. Adaptado de itempo.it/portale/medie-climatiche/Treviso (13/4/2015)

	T _{min}	T _{max}	T _{media}	Humedad
Enero	-1	7	3	79%
Febrero	1	9	5	74%
Marzo	4	13	8,5	70%
Abril	8	17	12,5	71%
Mayo	12	22	17	68%
Junio	15	26	20,5	71%
Julio	18	28	23	69%
Agosto	17	28	22,5	70%
Septiembre	14	25	19,5	72%
Octubre	9	19	14	75%
Noviembre	4	12	8	76%
Diciembre	-1	7	3	79%

Con estos datos se puede hacer un cálculo de la temperatura y humedad media anual:

- Temperatura media anual: 13.04 °C
- Humedad media anual: 72.8 %

Utilizando un diagrama psicrométrico se estima la temperatura húmeda para estas condiciones de temperatura ambiente y humedad. Esa será aproximadamente la temperatura del agua del río y, por extensión, la temperatura de la alimentación al digestor.

Según el diagrama la temperatura húmeda en estas condiciones es de aproximadamente 10 °C.

En el primer intercambiador de calor se llevará la alimentación hasta un punto de temperatura que vendrá determinado por la capacidad que tenga el lodo de salida de precalentar esta corriente. Como hay un intercambiador aguas abajo para ajustar esta temperatura no es determinante la temperatura de salida de la corriente de alimentación.

De este modo la corriente de entrada del digestor estará precalentada y pasará a un segundo intercambiador para alcanzar la temperatura de operación, o un poco superior. Para contrarrestar los efectos de las pérdidas caloríficas del reactor será necesario también recircular parte del contenido del mismo por este intercambiador. De ese modo la carga del intercambiador vendrá determinada por un lado por la energía necesaria para terminar de calentar la corriente de alimentación y por otro lado por la energía necesaria para contrarrestar las pérdidas de calor que se darán por las paredes del digestor.

En el primer intercambiador la corriente de alimentación tiene las siguientes características:

- Caudal másico: 86930.96 kg/d
- Temperatura de entrada: 10°C
- Calor específico: 4.18 kJ/kg·K

Mientras que la corriente de recuperación de energía, la salida de lodos del digestor, tiene estas características:

- Caudal másico: 85481.52 kg/d
- Temperatura de entrada: 36 °C
- Calor específico: 4.18 kJ/kg·K

La temperatura de salida de los lodos del digestor marcará la cantidad de energía que se transmita a la corriente de entrada, determinando así su temperatura de salida. Por heurísticas la diferencia de temperaturas debe ser mayor de 20°F²¹ así que un valor de 25°F estará correcto. Equivalen a unos 14°C

Según esto la temperatura de salida de la corriente de lodos del digestor será de 22°C, y el calor cedido será:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 9}$$

$$Q = 85481.52 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 14 \text{ K} = 57.90 \text{ kW}$$

Esto provoca un cambio en la temperatura de la corriente de alimentación al digestor de:

$$57.90 \text{ kW} = 86930.96 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 13.77 \text{ }^\circ\text{C}$$

Con lo que la temperatura de salida de la corriente de alimentación al reactor es de 23.8°C.

2. Intercambiador E-202

La carga del siguiente intercambiador vendrá determinada, como se ha dicho, por la energía necesaria para llevar esta corriente hasta la temperatura de operación, que son 36 °C. Y además la necesaria para balancear las pérdidas de calor por las paredes del reactor. Sabiendo que la recirculación del reactor sale a 36 °C es de suponer que la temperatura a la que entre la corriente de alimentación + recirculación será superior. La temperatura de esta corriente, igual que el caudal de recirculación, vendrá determinado por la cantidad de calor que hay que aportar.

Por tanto es necesario hacer el cálculo de las pérdidas de calor desde el digestor hacia el ambiente. Para ello es conveniente acudir al apartado de dimensionado del reactor.

²¹ SEIDER, W.D., SEADER, J. D., LEWIN, D.R., WIDAGDO, S., Product and process design principles: Synthesis, Analysis and Design, 3ª ed., Wiley, 2008.

2.1. Pérdidas de calor en el digestor R-201

Tabla 6 - Coeficientes de transmisión de calor para paredes de cemento²²

Ítem	U, Unidades SI (W/m ² K)
Paredes planas de cemento (sobre el terreno)	
300mm de espesor, no aislada	4.7 - 5.1
300 mm de espesor, con cámara de aire y pared de ladrillo	1.8 - 2.4
300 mm de espesor con aislamiento	0.6 - 0.8
Paredes planas de cemento (bajo tierra)	
Rodeadas de tierra seca	0.57 - 0.68
Rodeadas de tierra húmeda	1.1 - 1.4
Suelos planos de cemento	
300 mm de espesor rodeado de tierra seca	2.85
300 mm de espesor rodeado de tierra húmeda	1.7

Siguiendo la Tabla 6 - Coeficientes de transmisión de calor para paredes de cemento, se pueden estimar los coeficientes globales de transmisión de calor para las paredes del digestor, tanto las enterradas como las que están sobre el terreno, así como para el fondo del digestor.

Aunque parte del fondo del digestor es una superficie inclinada se va a suponer que el coeficiente de transmisión de calor es el mismo que si esa superficie fuese horizontal.

Además se considera que la pared lateral, en la parte que está enterrada, está en contacto con tierra seca, debido a las propias pérdidas de calor del digestor, y que la solera está en contacto con tierra húmeda.

Haciendo los cálculos de las superficies externas de contacto con el aire:

²² Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III*, 4^a ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1526

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

- Pared plana de cemento con aislamiento de aluminio corrugado:

$$A_1 = \pi \cdot D_{cilindro} \cdot h_{al\ aire} = \pi \cdot 12.17 \cdot 4.44 = 169.76\ m^2$$

- Cubierta de doble membrana

$$A_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot \frac{D_{cilindro}^2}{4}}{2} = \frac{\pi \cdot 12.17^2}{2} = 232.65\ m^2$$

Y las superficies enterradas:

- Pared plana de cemento en contacto con tierra seca:

$$A_3 = \pi \cdot D_{cilindro} \cdot h_{enterrada} = \pi \cdot 12.17 \cdot 4.44 = 169.76\ m^2$$

- Solera inclinada en forma de tronco de cono en contacto con tierra húmeda

$$A_4 = \pi \cdot \frac{(D_{cilindro} + D_{base})}{2} \cdot L_{inclinada} = \pi \cdot \frac{(12.17 + 2.16)}{2} \cdot 5.69 = 128.08\ m^2$$

- Solera horizontal en contacto con tierra húmeda:

$$A_5 = \pi \cdot \frac{D_{base}^2}{4} = \pi \cdot \frac{2.16^2}{4} = 3.66\ m^2$$

El coeficiente global de transmisión de calor de la membrana se extrae del catálogo comercial de la empresa Duol Air.

$$U_1 = 1.43 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Y de la Tabla 6 se extraen los coeficientes globales de transmisión de calor:

- Pared de cemento vertical con aislamiento en contacto con aire:

$$U_2 = 0.7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- Pared de cemento vertical en contacto con tierra seca

$$U_3 = 0.625 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- Pared de cemento horizontal en contacto con tierra húmeda

$$U_4 = 2.85 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

El cálculo del calor intercambiado se hace siguiendo la ecuación:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 10}$$

Los diámetros son suficientemente grandes como para considerar las paredes como paredes planas a efectos de intercambio de calor. Se considera que el interior del reactor está a 36°C y se considera que el aire tiene una temperatura de 13.04°C, como se calculó en el balance de energía. Además se considera que la temperatura bajo tierra es 10 grados mayor que la temperatura ambiente²³. Las pérdidas de calor en cada caso son:

- Membrana

$$Q = 1.43 \cdot 232.65 \cdot (36 - 13.04) = 7638.55 \text{ W}$$

- Pared vertical del digester sobre el terreno:

$$Q = 0.7 \cdot 169.76 \cdot (36 - 13.04) = 2728.38 \text{ W}$$

- Pared vertical enterrada

$$Q = 0.625 \cdot 169.76 \cdot (36 - 23.04) = 1375.06 \text{ W}$$

- Pared horizontal enterrada

$$Q = 2.85 \cdot (128.08 + 3.66) \cdot (36 - 23.04) = 4865.95 \text{ W}$$

Así que las pérdidas totales son:

$$Q_{p.total} = Q_{membrana} + Q_{vert.ext.} + Q_{vert.subt.} + Q_{solera} \quad \text{Ec. 11}$$

$$Q_{p.total} = 7638.55 + 2728.38 + 1375.06 + 4865.95 = 16607.94 \text{ W}$$

Así que el calor que hay que aportar a la corriente que atraviesa este segundo intercambiador de calor se puede dividir en dos requerimientos:

Por un lado hay que calentar la alimentación que viene del intercambiador de precalentamiento hasta la temperatura de operación.

²³ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III*, 4ª ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1527

Por otro lado hay que hacer pasar un determinado caudal del interior del reactor para contrarrestar las pérdidas de calor.

El calor que hay que proporcionar a la corriente de alimentación se puede calcular, sabiendo que la temperatura de entrada es 23.77 grados y la temperatura de operación será 36::

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 86930.96 \frac{kg}{d} \cdot \frac{1 d}{24 h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \cdot 4.18 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (36 - 23.77)K$$

$$Q = 51.45 kW$$

3. Cogeneración C-301

El biogás que se produce en el proceso será enviado a una etapa de cogeneración, donde se producirá calor y energía.

Del anexo I de balance de materia se extrae que se producen 817.92 m³/d de metano a 0 °C y 1 atmósfera. Eso son:

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 \cdot 817920}{0.082 \cdot 273.15} = 36517.05 \frac{mol CH_4}{d}$$

Y el calor de combustión estándar del metano es 802.63 kJ/mol.²⁴

Con lo que la potencia teórica que ocurre la etapa de cogeneración es:

$$P = 36517.05 \frac{mol}{d} \cdot 802.63 \frac{kJ}{mol} \cdot \frac{1 d}{24 h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 339.23 kW$$

²⁴ SMITH, J.M., VAN NESS, H.C., ABBOTT, M.M., Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química, 7ª ed., Mexico D.F., McGraw-Hill Interamericana, 2007

ANEXO III - Cálculos y selección de equipos

1. Diseño y selección de equipos

1.1. Tanque de almacenamiento con tolva para RSU sin tratar (TK-101)

1.1.2. Dimensionado

La función de este tanque es acumular suficientes RSU para permitir el tratamiento por lotes. Por lo tanto será necesario que el tanque tenga un volumen suficiente para acomodar los RSU que es necesario alimentar al proceso a lo largo de todo un día. Del Anexo I de Balance de materia se extrae que entran a la planta cada día 23663.70 kg de RSU.

Para saber el volumen que ocupa esa cantidad de RSU hay que recurrir a la densidad. Las densidades de los distintos tipos de residuos urbanos se pueden ver en la tabla 7

Tabla 7 - Densidades de distintas fracciones de RSU²⁵

Fracción	kg/m ³	Densidad aparente (kg/m ³), según tamaño			
		<100 mm	<50 mm	<10 mm	<5 mm
RSU	150-250	200	250	300	325
Papel/cartón	700 -1.100	30	40	55	60
Fermentables	800-1050	275	300	350	375
Plásticos densos	800-2.200	300	325	375	390
Plásticos ligeros	800-2.200	20	50	80	100
Metales férricos	7.900	200	300	500	1.000
Metales no férricos	2.700	100	150	200	300
Textiles	900-1.100	150	200	275	300
Maderas	400-1.300	150	175	225	300
Vidrio	2.400-2.600	500	700	1.500	1.800
Cenizas	1.200				
Tierras	1.600				
Polvo	300				
Deyecciones animales	940				
Aceites vegetales	930				
Aceites minerales	900				
Residuos de animales	500-2.000				

²⁵ ELÍAS CASTELS, X., Métodos de valorización y tratamiento de residuos municipales, 2012, Ed. Díaz de Santos.

De la tabla 7 se toma el dato de residuos fermentables. Lo que interesa no es la densidad de la materia en sí, sino la densidad aparente, que es lo que va a ocupar en el tanque de almacenamiento.

Se asume un tamaño entre 50 y 100 mm, con lo que la densidad aparente son 275 kg/m³.

Con este dato se calcula el volumen necesario para el tanque:

$$V = \frac{m}{D} = \frac{23663.70}{275} = 86.05 \text{ m}^3$$

Y aplicando un sobredimensionamiento del 20% se calcula el volumen de diseño:

$$V_{\text{diseño}} = V \cdot 1.2 = 103.26 \text{ m}^3$$

1.1.3. Diseño mecánico

Se plantea la construcción de un tanque rectangular de planta cuadrada y con una relación anchura-altura de 1. En definitiva, un cubo.

El lado del cubo es:

$$L = V_{\text{diseño}}^{1/3} = 4.69 \text{ m}$$

Al no tener que tratar con sólidos abrasivos ni fluidos corrosivos se establece que estará construido en acero al carbono y con un espesor de 3.5 mm.

Además, para alimentar el sistema de dosificación se requiere que el fondo esté ligeramente inclinado. Se determina una inclinación de 15 grados para el fondo del tanque con la salida hacia la trituradora en un lateral. El volumen en exceso que supone esta inclinación no se considera para el volumen de diseño, resultando en un sobredimensionamiento ligeramente superior al indicado.

Respecto al dosificador no se necesita un sistema de dosificación preciso porque sólo se requiere un sistema de abierto/cerrado. El pretratamiento se hace por lotes, así que durante el ciclo de operación de esta zona se mantiene abierto el tanque y se acumula en el segundo tanque de almacenamiento, que tendrá un sistema de dosificación más preciso. Por lo tanto se selecciona una puerta hidráulica que se abrirá durante el ciclo de operación del pretratamiento y se cerrará en el resto de los casos.

El tanque estará soportado en una estructura elevada de modo que la salida del tanque, por el fondo, pueda ser conducida directamente a la trituradora sin ayuda de equipamiento auxiliar, y del mismo modo de la trituradora al trommel.

Tabla 8 - Características del tanque TK-101

Tanque de almacenamiento (TK-101)	
Material de construcción	Acero al carbono
Espesor	3.5 mm
Volumen	103.26 m ³
Largo	4.69 m
Ancho	4.69 m
Alto	4.69 m
Inclinación fondo	15°
Dosificador	
Tipo	Puerta hidráulica

1.2. Trituradora (CR-101)

Este equipo tiene como función reducir el tamaño de los sólidos que entran al proceso. Los sólidos provienen de la recogida selectiva de RSU, por lo que el perfil de tamaños que presentan a la llegada a la planta es variable y demasiado grande.

El primer paso para conseguir un sustrato de tamaño uniforme es triturarlo. El tipo de trituradora más típico para esta clase de operación es una trituradora de cuchillas rotatorias. Existen varios tipos de trituradoras de cuchillas rotatorias que básicamente se diferencian en el número de cuchillas. De nuevo la opción más típica es la de un cilindro con dos cuchillas que giran en sentidos opuestos para forzar al sustrato a pasar entre las dos cuchillas y así conseguir un triturado óptimo.. También está extendido el uso de modelos de un cilindro con cuchillas en el que el propio cilindro al girar fuerza los residuos a pasar entre las cuchillas y la carcasa, provocando así que reduzcan su tamaño.

El equipo seleccionado en este caso es una trituradora de la marca Starind. Concretamente el modelo 2R10/50 ER.

La capacidad de este equipo está considerada entre 3 y 10 T/h. Con una carga media de 6.5 T/h este equipo necesitaría funcionar algo menos de 4 horas para tratar todos los residuos

necesarios para el funcionamiento diario de la planta. Se considera 4 horas como el ciclo de funcionamiento.

1.2.1. Diseño mecánico

Las especificaciones del fabricante para este modelo indican que se trata de una trituradora con dos ejes, dos cilindros con cuchillas que giran en sentidos opuestos. Se trata de un modelo con dos motores eléctricos, uno para cada eje, situados uno a cada lado del cuerpo del equipo.

La ficha técnica de este equipo no indica el material de construcción, pero presumiblemente se trata de acero al carbono para la estructura del equipo y acero inoxidable para las cuchillas. En este modelo las cuchillas tienen un espesor entre 30 y 50 mm. Las dimensiones totales del equipo, incluyendo motores, son:

- Largo: 3015 mm
- Ancho: 1511 mm
- Alto: 415 mm

Será necesario situar este equipo sobre una estructura elevada para recoger el resultado y dirigirlo a la entrada del filtro rotatorio. La salida de rechazo del trommel debe ser enviada de nuevo a la trituradora.

Tabla 9 - Características de la trituradora CR-101

Trituradora (CR-101)	
Tipo	Cuchillas rotatorias
Fabricante	SATRIND
Modelo	2R10/50 ER
Nº de ejes	2
Espesor cuchillas	30-50 mm
Material de construcción	Acero al carbono, acero inoxidable
Velocidad	14 rpm
Caudal máximo de trabajo (RSU)	10 T/h
Potencia	37 kW
Largo	3015 mm
Ancho	1511 mm
Alto	415 mm

1.3. Trommel (TR-101)

La función de este equipo es filtrar los residuos sólidos que salen de la trituradora para asegurar que sólo avanzan en el proceso aquellos que tengan un tamaño adecuado. El trommel es un filtro cilíndrico rotatorio. El cilindro tiene cierta inclinación para que, cuando gire a lo largo de su eje, los materiales que se quieren filtrar avancen a lo largo del cilindro por gravedad. La superficie filtrante está en las propias paredes del cilindro. Con el movimiento de giro el sustrato se desplaza, en un sentido relativo, en un movimiento en espiral alrededor de la pared del cilindro, de modo que cuando llegan al final las partículas con un tamaño inferior a la tolerancia determinada por el tamaño de los agujeros en la pared habrán caído, mientras que las partículas más grandes saldrán en una corriente de rechazo.

Se selecciona en este caso un trommel de la marca Environmental Marketing Solutions (EMS). Concretamente el modelo T-1200 612, que tiene una capacidad máxima de tratamiento de 12 T/h.

Igual que en el caso de la trituradora su ciclo de funcionamiento es 4 horas/día.

1.3.1. Diseño mecánico

El trommel es, por definición, un filtro cilíndrico giratorio. Por tanto el cuerpo del equipo tiene forma cilíndrica. Sin embargo, además del cuerpo y los soportes el equipo cuenta con una cubierta para evitar la dispersión de partículas y una cinta transportadora por debajo del cilindro para recoger y transportar las partículas que pasen a través del filtro.

Todo el cuerpo y la estructura está construida en acero al carbono. Existen aros de goma conectados a cada uno de los 4 motores que hacen girar el cilindro, además de dos grandes aros de goma en los extremos del mismo, para favorecer la fricción y la transmisión de potencia del motor al cilindro.

El diámetro del cilindro son 1.8 metros, mientras que la longitud total son 3.7 metros.

El cilindro es fundamentalmente la malla filtrante, pero tiene dos cabezales, dos partes del cilindro construidas en acero sólido de 15 mm, para la entrada y la descarga de los residuos, y para soportar el peso del cilindro. La malla está también construida en acero al carbono y cuenta con agujeros de 10 mm.

Cada uno de los 4 motores eléctricos tiene una potencia de 2.2 kW.

Tabla 10 - Características del trommel TR-101

Trommel (TR-101)	
Fabricante	EMS
Modelo	T1200-612
Diámetro	1.8 m
Longitud	3.7 m
Nº motores	4
Potencia total	8.8 kW
Velocidad de giro	5-20 rpm
Caudal máximo de trabajo (RSU)	12 T/h
Materiales	Acero al carbono, goma
Tipo de filtro	Malla
Luz	10 mm
Espesor de los cabezales	15 mm
Recogida de finos	Cinta transportadora

1.4. Separador magnético (M-101)

La función del separador magnético es retirar de la corriente de sólidos los metales ferrosos. Debido a la recogida selectiva puerta a puerta, que es el sistema de recogida de RSU en Treviso, se reduce considerablemente la cantidad de residuos mal clasificados. Sin embargo pueden existir ciertos objetos fabricados en hierro o acero que se cuelen en el contenedor de "húmedo", que es el equivalente al orgánico en España. Por ese motivo se considera conveniente añadir una etapa de separación de ferrosos.

La tecnología para la retirada de metales ferrosos en líneas de separación de residuos se basa en dispositivos magnéticos que atraen los metales ferrosos mientras que los demás residuos no se ven afectados. Típicamente se instala un sistema con un imán permanente por dentro de una cinta transportadora. Todo el sistema estará colgado encima de la cinta transportadora por donde discurren los residuos.

Lo que ocurre es que los residuos, incluyendo los metales ferrosos, discurren por la cinta transportadora y al llegar a donde está colgado el dispositivo con el imán permanente los metales ferrosos se verán atraídos por el imán permanente y luego arrastrados por la cinta que lo recubre, mientras que el resto de residuos seguirán su camino por la cinta principal.

Según vayan avanzando por la cinta que recubre el imán permanente los metales eventualmente llegarán a una zona desmagnetizada, con lo que se desprenderán de la cinta y caerán, tomando su camino hacia un contenedor de almacenamiento.

Se selecciona un equipo del fabricante Magnetica Torri. Concretamente el modelo SMH55E.

De nuevo, igual que en el caso de la trituradora y el trommel, se considera un ciclo de funcionamiento de 4 horas/día.

1.4.1. Cinta transportadora

La cinta transportadora auxiliar de este equipo tiene dos funciones: transportar los residuos hasta el tanque de almacenamiento y hacerlos circular por debajo del separador magnético. Se necesita una cinta transportadora que transporte, al menos, la misma capacidad que el equipo limitante, que en este momento es la trituradora con una capacidad máxima de 10 T/h. El fabricante especifica que la cinta transportadora no debería llevar una capa de material superior a 20 mm para asegurar el buen funcionamiento del dispositivo de separación. Además se estima la velocidad de la cinta en un valor típico de 1 m/s. Según estos datos se puede calcular el ancho de la cinta:

$$W = \frac{\frac{10000 \frac{kg}{h}}{350 \frac{kg}{m^3} \cdot 3600 \frac{s}{h}}}{1 \frac{m}{s} \cdot 0.020 m} = 0.40 m$$

El tamaño mínimo para el separador magnético está entre 500 y 550 mm de ancho total. El ancho total incluye unos rebordes inclinados para impedir que se caiga el material transportado. Por lo tanto el equipo adecuado es una cinta de 500 mm de ancho.

La cinta debe contar con un sistema de cajas para elevar el material al final del recorrido hasta el tanque de almacenamiento TK-102.

1.4.2. Diseño mecánico

El equipo se coloca de forma transversal sobre la cinta transportadora principal de modo que los metales ferrosos caen a un lado de la cinta, donde pueden ser recogidos.

El imán permanente está fabricado en neodimio para asegurar una separación óptima y constante en el tiempo. Además de este modo se consigue un campo magnético que no requiere un gasto eléctrico. El gasto eléctrico de este equipo viene encabezado por el motor que mueve la cinta alrededor del separador, con una potencia media de 1.8 kW.

La cinta está fabricada en goma y cuenta con salientes, también de goma, que fuerzan los metales ferrosos a desplazarse hacia la zona no imantada.

El equipo con el imán debe estar colocado a una distancia de 20 cm sobre la cinta transportadora. Por lo tanto requiere de la construcción de soportes para mantenerlo elevado. Para tal objetivo cuenta en su diseño con unos anclajes en la parte superior en los que típicamente se enganchan cadenas para sostenerlo colgando del soporte. También sería posible un soporte fijo sin cadenas.

Tabla 11 - Características del separador magnético M-101

Separador magnético (M-101)	
Tipo	Cinta transportadora
Fabricante	Magnetica Torri
Modelo	SMH 55 E
Imán	Neodimio
Motor	Eléctrico
Potencia	1.8 kW
Elevación sobre la cinta	200 mm
Peso	500 kg
Materiales de construcción	Acero inoxidable, goma, neodimio
Largo	1760 mm
Ancho (incluye motor)	1119 mm
Alto	310 mm

1.5. Tanque de almacenamiento con tolva para RSU pretratados (TK-102)

Igual que en el anterior tanque de almacenamiento la utilidad de éste es el almacenamiento de residuos, en este caso procesados, para permitir el funcionamiento en discontinuo de la zona de tratamiento físico de los residuos sólidos que comprende el funcionamiento de las etapas de triturado, filtrado y separación de metales ferrosos. Se selecciona un tanque dosificador de la marca

1.5.1. Dimensionado

Para conocer el volumen del tanque es necesario saber qué cantidad de residuos tiene que almacenar. Se trata de contener una corriente con 23322.94 kg/día. Según la tabla 7 se considera para estos residuos una densidad aparente de 375 kg/m³.

Por lo tanto el volumen de la corriente será:

$$V = \frac{m}{D} = \frac{23322.94}{375} = 62.20 \text{ m}^3$$

Y aplicando un sobredimensionamiento del 20% se calcula el volumen de diseño del tanque:

$$V_{dise\tilde{n}o} = V \cdot 1.2 = 74.64 \text{ m}^3$$

1.5.2. Diseño mecánico

Se propone un tanque de planta cuadrada y de altura igual al ancho, en definitiva, un cubo. El lado del cubo es:

$$L = V_{dise\tilde{n}o}^{1/3} = 4.21 \text{ m}$$

Como no se tratan sólidos abrasivos ni corrosivos se propone la construcción en acero al carbono con un espesor de 3.5 mm.

En cuanto al sistema de dosificación en este caso se necesita un dosificador preciso y variable porque se están alimentando los sólidos directamente al proceso. Se selecciona un dosificador de tornillo del fabricante Lehmann Maschinenbau. Concretamente el modelo con doble tornillo e inclinación. De ese modo se puede situar el tanque a poca altura porque el dosificador elevará los sólidos hasta la entrada al tanque de mezcla.

Para alimentar correctamente el dosificador se establece que el fondo del tanque tenga una inclinación de 15 grados. El volumen extra que supone esta inclinación no se tiene en cuenta como volumen de diseño, de forma que se añade al sobredimensionamiento propuesto.

Tabla 12 - Características del tanque TK-102

Tanque de almacenamiento (TK-102)	
Material de construcción	Acero al carbono
Espesor	3.5 mm
Volumen	79.96
Largo	4.31 m
Ancho	4.31 m
Alto	4.31 m
Inclinación fondo	15°
Dosificador	
Tipo	Tornillo

1.6. Bomba P-101

Es el equipo encargado de bombear la alimentación de lodos de depuradora hasta el tanque.

El tanque está a presión atmosférica, pero con al llenarse desde el fondo existe una presión hidrostática que hay que salvar.

La corriente de entrada de lodos tiene aproximadamente un 4% de sólidos, así que una bomba centrífuga queda descartada.

Las alternativas más adecuadas para corrientes con sólidos son las bombas de desplazamiento positivo, bombas de émbolos, de cavidad progresiva, de lóbulos o peristálticas.

Por la relación entre capacidad y presión alcanzada se decide que la bomba que mejor se ajusta a los requerimientos es una bomba de lóbulos.

Se selecciona el modelo S8 de la marca LOBEPRO.

1.6.1. Diseño mecánico

La bomba está fabricada en fundición, acero al carbono y acero inoxidable, además de goma de nitrilo para los sellados. Consta de dos ejes con perfil helicoidal. Cada lóbulo tiene 6 alas.

El fabricante no aporta un rango de temperaturas de trabajo, pero sí indica que se debe contactar con la fábrica antes de utilizar la bomba con fluidos a más de 80 °C.

También se indica que no se deben utilizar fluidos con sólidos duros de tamaño mayor a 3 mm. O sólidos compresibles con tamaño mayor a 19 mm. Se puntualiza que la bomba seguirá funcionando pero puede sufrir daños.

El peso total del cuerpo de la bomba es de 50 kg.

Tabla 13 - Características de la bomba P-101

Bomba (P-101)	
Tipo	Lóbulos
Fabricante	LOBEPRO
Modelo	S8
Potencia (25 psi, 450 rpm)	0.60 kW
Altura máxima autocebado	7.5 m
P máx. de operación	12 bar
Caudal máximo	16 m ³ /h
Materiales	Fundición, acero al carbono y acero inoxidable
Tipo de lóbulo	Hélice
Nº de lóbulos	6
Tamaño máx. sólidos blandos	19 mm
Tamaño máx. sólidos duros	3 mm

1.7. Tanque de mezcla

El tanque de mezcla es un mezclador/separador que consta de dos secciones: una agitada y una de reposo. En la zona agitada se mezclan los lodos de depuradora con los RSU, y en la zona de reposo se separan los flotantes y los inertes pesados.

1.7.1. Dimensionado

El dimensionado del tanque de mezcla dependerá de ambas secciones. Por un lado la zona de agitación se dimensionará en función del tiempo de residencia. Se asume que un tiempo de residencia hidráulico (TRH) de 1 hora es suficiente para un buen mezclado.

El caudal volumétrico total que entra al tanque, asumiendo para los RSU una densidad de 375 kg/m³, es:

$$Q = \frac{85}{24} + \frac{23322.94}{375 \cdot 24} = 6.13 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto el volumen necesario para la zona de agitación es:

$$V = Q \cdot TRH = 6.13 \cdot 1 = 6.13 \text{ m}^3$$

Y aplicando un sobredimensionamiento del 20%:

$$V_{\text{diseño agitación}} = 6.13 \cdot 1.2 = 7.36 \text{ m}^3$$

Por otro lado se considera que la zona de reposo para la separación de los flotantes y de los inertes pesados es suficiente con 1/2 hora de TRH, con lo que, ya aplicado el 20% de sobredimensionamiento, el volumen necesario será justamente la mitad del volumen de diseño de la zona de agitación, es decir:

$$V_{\text{diseño reposo}} = 3.68 \text{ m}^3$$

Se propone una sección transversal cuadrada y con una relación Longitud/ancho de 2 en la zona de agitación. Con estos datos se pueden calcular las dimensiones de la zona de agitación y las de la zona de reposo vendrán ya determinadas por el tiempo de residencia y las dimensiones de la sección transversal.

$$V = W \cdot H \cdot L = 7.36 \text{ m}^3$$

Donde:

W es el ancho de la sección transversal, en m

H es la altura de la sección transversal, en m

L es la longitud de la sección de agitación, en m

Aplicando las relaciones indicadas:

$$V = W \cdot W \cdot 2W = 7.36 \text{ m}^3$$

$$W = 1.54 \text{ m}$$

Con lo que:

$$H = 1.54 \text{ m}$$

$$L = 3.08 \text{ m}$$

Y en la zona de reposo

$$W = 1.54 \text{ m}$$

$$H = 1.54 \text{ m}$$

$$L = 1.58 \text{ m}$$

1.7.2. Diseño mecánico

Para separar las dos zonas, la de agitación y la de reposo, se propone la instalación de un deflector que cubra el 75% del área transversal del tanque, de modo que el hueco que queda tenga disposición vertical y abarque la totalidad de la dimensión vertical y el 25% de la dimensión horizontal de la sección transversal.

Conociendo las dimensiones, el deflector sería una plancha de 1.54 m de alto con un ancho de 1.16 m.

1.7.2.1. Material de construcción

Por las sustancias que se manejan no son fluidos corrosivos ni peligrosos, y la cantidad de sólidos no lo convierte en una sustancia abrasiva, la opción más habitual, además de la más económica, es construir el tanque, así como el deflector, en acero al carbono.

El tanque opera a presión atmosférica, así que un espesor de 5 mm será más que suficiente para la construcción del tanque.

Tabla 14 - Características del tanque de mezcla TM-101

Tanque de mezcla (TM-101)	
Material de construcción	Acero al carbono
Espesor	3.5 mm
Zona de agitación	
Volumen	7.36 m ³
Largo	3.08 m
Ancho	1.54 m
Alto	1.54 m
Agitador	
Fabricante	Landia (Sumergible)
Potencia	2.2 kW
Velocidad	1500 rpm
Zona de reposo	
Volumen	3.58 m ³
Largo	1.54 m
Ancho	1.54 m
Alto	1.54 m

1.8. Bomba P-201

Es el equipo encargado de bombear la alimentación del digestor desde el tanque de mezcla hasta el digestor, salvando las caídas de presión de los intercambiadores de calor.

La corriente de entrada de lodos tiene aproximadamente un 7.5% de sólidos, con lo que el uso de una bomba centrífuga queda totalmente descartado.

Las alternativas más adecuadas para corrientes con sólidos son las bombas de desplazamiento positivo, bombas de émbolos, de cavidad progresiva, de lóbulos o peristálticas.

Por la relación entre capacidad y presión alcanzada se decide que la bomba que mejor se ajusta a los requerimientos es, de nuevo, una bomba de lóbulos.

El modelo S8 de la marca LOBEPRO, también usado en la bomba P-101, es adecuado para este caso también.

1.8.1. Diseño mecánico

La bomba está fabricada en fundición, acero al carbono y acero inoxidable, además de goma de nitrilo para los sellados. Consta de dos ejes con perfil helicoidal. Cada lóbulo tiene 6 alas.

El fabricante no aporta un rango de temperaturas de trabajo, pero sí indica que se debe contactar con la fábrica antes de utilizar la bomba con fluidos a más de 80 °C..

También se indica que no se deben utilizar fluidos con sólidos duros de tamaño mayor a 3 mm. O sólidos compresibles con tamaño mayor a 19 mm. Se puntualiza que la bomba seguirá funcionando pero puede sufrir daños.

El peso total del cuerpo de la bomba es de 50 kg.

Tabla 15 - Características de la bomba P-201

Bomba (P-201)	
Tipo	Lóbulos
Fabricante	LOBEPRO
Modelo	S8
Potencia (25 psi, 450 rpm)	0.60 kW
Altura máxima autocebado	7.5 m
P máx. de operación	12 bar
Caudal máximo	16 m ³ /h
Materiales	Fundición, acero al carbono y acero inoxidable
Tipo de lóbulo	Hélice
Nº de lóbulos	6
Tamaño máx. sólidos blandos	19 mm
Tamaño máx. sólidos duros	3 mm

1.9. Digestor (R-201)

1.9.1. Dimensionado

Existen varias formas de dimensionar un digestor anaerobio: en base al tiempo de retención de sólidos (SRT), usando factores de carga volumétricos, basándose en la destrucción de sólidos volátiles, en la reducción observable de volumen o en factores poblacionales.

El hecho de utilizar un reactor de mezcla completa hace que el SRT sea el mismo que el tiempo de residencia hidráulico (HRT). Esto significa que conociendo el caudal de influente el cálculo del volumen del reactor será inmediato conociendo el dato de HRT requerido, que será el mismo que el SRT.

Como ya se indicó para el balance de materia, en el Anexo I, el SRT de diseño para el digestor es de 10 días, y es equivalente al HRT.

El caudal volumétrico de entrada al digestor, asumiendo que su densidad es equivalente a la del agua (1000 kg/m^3), es de : $86.93 \text{ m}^3/\text{d}$. Por tanto el volumen del reactor será:

$$V = Q \cdot HRT = 86.93 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 10 \text{ d} = 869.30 \text{ m}^3$$

Y aplicando un factor de sobredimensionamiento del 20%, el volumen de diseño es:

$$V_{\text{diseño}} = V \cdot 1.2 = 869.30 \cdot 1.2 = 1043.16 \text{ m}^3$$

El digestor tiene una cubierta de membrana en forma semiesférica y un fondo en forma troncocónica. Se evita la forma cónica para el fondo porque no permite un correcto mezclado del líquido en el tanque. Las paredes del tronco de cono tienen una pendiente mínima de una unidad de medida vertical frente a seis horizontales²⁶. Esto equivale aproximadamente a 10° . Esta pendiente mínima cumple de forma pobre la tarea de mejorar la mezcla frente a un tanque cilíndrico con una solera totalmente horizontal. Por ese motivo se propone una pared con una inclinación de 30° . La parte más baja del digestor será una superficie horizontal por la que se retirarán los lodos de salida del reactor. A estos efectos, y para que no haya los problemas de mezcla que se pretenden evitar, se estipula que esta superficie tenga un diámetro fijo de 2 metros.

De este modo se pueden establecer los cálculos del volumen del reactor en función del diámetro del cilindro principal, para luego ajustar este diámetro hasta que el volumen sea el volumen de diseño.

Haciendo el cálculo por partes:

- Cubierta:

La cubierta del digestor es una membrana que puede variar el volumen de esta parte, pero se diseñará como una semiesfera. En cualquier caso la cubierta está diseñada para el almacenamiento de gas. Funciona como un tanque pulmón dentro del propio digestor absorbiendo las variaciones de volumen que pueda haber dentro del tanque. Por lo tanto queda fuera del cómputo del volumen de diseño que se hace en función del tiempo de residencia hidráulico.

²⁶ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III*, 4ª ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1516

- Base troncocónica

La base en forma de tronco de cono tiene un diseño basado en el ángulo de la pared inclinada y el diámetro de la superficie base horizontal. El ángulo de inclinación de la pared es, como se ha indicado, 30° y el diámetro de la base es 2 metros. La magnitud que se quiere relacionar con el diámetro del cilindro principal es el volumen del tronco de cono.

Se establece el volumen del hipotético cono completo del que se eliminará la punta para determinar el volumen del tronco de cono. El volumen del cono completo es:

$$V_{cono\ completo} = \frac{1}{3} \pi \cdot \frac{D_{cilindro}^2}{4} \cdot h_{cono\ completo}$$

La altura del cono completo se puede extraer de las relaciones trigonométricas sabiendo que la generatriz de este cono está relacionada con el diámetro de la base y con el ángulo de inclinación:

$$G = \frac{\frac{D_{cilindro}}{2}}{\cos(30)} \quad \text{Ec. 12}$$

$$h_{cono\ completo} = G \cdot \text{sen}(30) \quad \text{Ec. 13}$$

Y del mismo modo se calcula la altura del cono que se retira de este cono principal:

$$G' = \frac{\frac{D_{base}}{2}}{\cos(30)} \quad \text{Ec. 14}$$

$$h_{cono\ base} = G' \cdot \text{sen}(30) \quad \text{Ec. 15}$$

La longitud de la pared inclinada será igual a la diferencia entre las generatrices:

$$L_{inclinada} = G - G'$$

Y se calcula el volumen del tronco de cono:

$$V_{tronco} = V_{cono\ completo} - V_{cono\ base} = \frac{1}{3}\pi \cdot \frac{D_{cilindro}^2}{4} \cdot h_{cono\ completo} - \frac{1}{3}\pi \cdot \frac{D_{base}^2}{4} \cdot h_{cono\ base}$$

Donde las alturas del cono completo y del cono de la base se expresan en función del diámetro según las ecuaciones 12, 13, 14 y 15

- Cuerpo cilíndrico:

El volumen del cuerpo cilíndrico es muy fácilmente relacionable con el diámetro según la ecuación del volumen de un cilindro:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot \frac{D_{cilindro}^2}{4} \cdot h \quad \text{Ec. 16}$$

La altura del cilindro también depende del diámetro porque se establece que la relación óptima de altura/diámetro, en especial para conseguir una buena mezcla²⁷ es de 1. Por lo tanto la altura del cuerpo cilíndrico más la altura del tronco de cono deberá ser igual al diámetro:

$$h_{cilindro} = D_{cilindro} - h_{tronco} = D_{cilindro} - (h_{cono\ completo} - h_{cono\ base}) \quad \text{Ec. 17}$$

Así que queda definido el volumen que ocupará el líquido en función del diámetro del cilindro principal del digestor. La expresión completa es la siguiente:

$$\begin{aligned} V_{líquido} &= V_{cilindro} + V_{tronco\ cono} && \text{Ec. 18} \\ &= \pi \cdot \frac{D_{cilindro}^2}{4} \cdot \left(D_{cilindro} - \left(\frac{\frac{D_{cilindro}}{2}}{\cos(30)} \cdot \text{sen}(30) - \frac{\frac{D_{base}}{2}}{\cos(30)} \cdot \text{sen}(30) \right) \right) \\ &\quad + \frac{1}{3}\pi \cdot \frac{D_{cilindro}^2}{4} \cdot \frac{\frac{D_{cilindro}}{2}}{\cos(30)} \cdot \text{sen}(30) - \frac{1}{3}\pi \cdot \frac{D_{base}^2}{4} \cdot \frac{\frac{D_{base}}{2}}{\cos(30)} \cdot \text{sen}(30) \end{aligned}$$

Donde D_{base} es un término conocido con un valor de 2 metros.

²⁷ DORIAN, P., Bioprocess Engineering Principles, 1 ed., Elsevier, 1995.

Se ajusta el valor de $D_{cilindro}$ hasta que el volumen de líquido es el volumen de diseño del digestor, es decir, 1043.16 m^3 . El valor para el que se cumple esta relación es:

$$D_{cilindro} = 11.58 \text{ m}$$

Por lo tanto, haciendo un resumen de las medidas internas del digestor calculadas a partir de este valor con las ecuaciones precedentes:

- $D_{cilindro} = 11.58 \text{ m}$
- $D_{base} = 2.00 \text{ m}$
- $H_{cilindro} = 8.81 \text{ m}$
- $H_{tronco} = 2.76 \text{ m}$
- $L_{inclinada} = 5.53 \text{ m}$

Las dimensiones externas del reactor dependen del material del que esté fabricado el cuerpo del reactor y de su espesor. En este caso, como se ha explicado en el apartado de Diseño mecánico, en el subapartado de Selección de los materiales de construcción, tanto el cuerpo del cilindro como la base están contruidos en cemento con 300 mm de espesor. Por lo tanto las medidas externas del digestor pasan a ser distintas.

El diámetro del cilindro principal simplemente se agranda 0,6 metros.

Sin embargo las demás medidas no son tan simples de calcular. Hay que hacer los cálculos trigonométricos correspondientes. El aumento de 0,3 metros a todo el perímetro supone un cambio en todas las magnitudes indicadas. El incremento será proporcional al espesor que se esté aumentando. Y la constante de proporcionalidad será igual a la tangente de la mitad del ángulo de inclinación de la pared lateral del tronco de cono.

Y así las medidas externas del reactor quedan de la siguiente forma:

- $D_{cilindro} = 12.17 \text{ m}$
- $D_{base} = 2.16 \text{ m}$
- $H_{cilindro} = 8.88 \text{ m}$
- $H_{tronco} = 2.98 \text{ m}$
- $L_{inclinada} = 5.69 \text{ m}$

A efectos de cálculos la membrana interna del sistema de doble membrana será equivalente a una semiesfera de diámetro igual al diámetro interno del digestor y la membrana externa será como una semiesfera de diámetro igual al diámetro externo del reactor.

1.9.2. Diseño mecánico

1.9.2.1. Selección del material de construcción

La selección del material de construcción se hace empleando el diagrama de lóbulos:

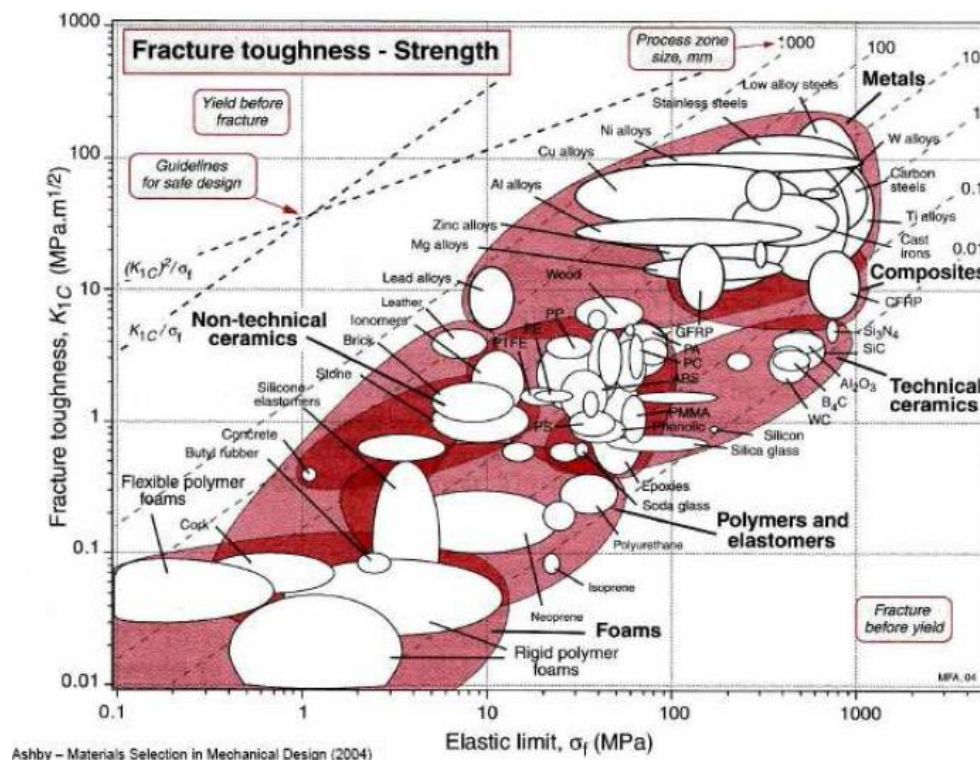


Figura 7 - Diagrama de lóbulos para selección de materiales para recipientes a presión²⁸

El parámetro que habría que maximizar estrictamente sería $\frac{K_{1c}}{\sigma_F}$, proponiéndose un diseño "Yield before break". De los propuestos en el gráfico los materiales que maximizan este índice son aleaciones de cobre, níquel, plomo y aluminio. Sin embargo aplicando un filtro económico pueden descartarse ya que no es necesario emplear materiales tan sofisticados y no compensaría económicamente. La disyuntiva al final se plantea entre cemento o acero

²⁸ SEIDER, W.D., SEADER, J. D., LEWIN, D.R., WIDAGDO, S., Product and process design principles: Synthesis, Analysis and Design, 3ª ed., Wiley, 2008.

inoxidable. Cualquiera de los dos materiales sería útil y efectivo, pero de nuevo por razones económicas la balanza se decanta hacia el cemento.

Por lo tanto, aunque no es el que maximiza el índice de materiales propuesto, el material de construcción del digestor será cemento.

1.9.2.2. Diseño del cuerpo del reactor

La bibliografía recomienda unos determinados espesores de cemento para la construcción de digestores anaerobios. Concretamente en este caso, como la cubierta es una membrana, sólo se necesita aplicar las recomendaciones bibliográficas en los espesores de las paredes y de la solera.

Tanto para la pared vertical como para la solera del digestor se emplea un espesor de 300 mm de cemento. El hecho de que se utilice cemento armado, con estructura de hierro o acero en el interior es una cuestión puramente mecánica.

Es importante especificar que el reactor no tendrá que soportar altas presiones, pero sí se considera que la presión en el digestor debe ser superior a la atmosférica para facilitar el flujo de gas hacia los siguientes equipos de proceso. Se determina que la presión ha de ser 1.2 bar.

1.9.2.3. Diseño de la membrana

La cubierta del digestor emplea un sistema de doble membrana para evitar fluctuaciones en la salida de gas hacia la planta de cogeneración. Aun así es necesario un esqueleto de madera o acero para sostener la membrana en caso de subpresurización acusada.

El diseño de esta membrana viene marcado por la casa comercial, pero en general cada membrana consta de un tejido de polyester-algodón en el interior, típicamente cubierto por PVC flexible.

La función de la membrana externa es mantener la presión en la cámara de aire y al mismo tiempo mantener la forma sin deformarse ante el efecto del viento o de cargas de lluvia o nieve. Como está expuesta a las inclemencias del tiempo su recubrimiento exterior debe ser efectivo contra la radiación solar para evitar que la membrana se vuelva rígida o se deteriore.

La membrana interna tiene la función de adaptarse a las características de presión del reactor en cada momento. De ese modo si la presión en el interior del digestor baja y no sale suficiente caudal de gas la cámara de aire se amplía, desplazando la membrana interna hacia el interior del reactor para ajustar la presión y el caudal de gas. Si la presión es demasiado alta la membrana se desplazará hacia la membrana externa, disminuirá la cámara de aire, y así se ajustará la presión.

Otra característica que debe tener el material del que esté diseñada la membrana es baja permeabilidad al aire, cuanto más cerca esté de ser nula, mejor. Esto se debe a que una fuga constante de biogás a través de la membrana interna hacia la cámara de aire y, en última instancia, hacia el exterior, podría provocar un problema ambiental o legal, dependiendo del caso. Además una alta permeabilidad de gas de la membrana externa provocaría filtraciones del aire que se está soplando pudiendo provocar que no se mantenga la estructura ante golpes de viento o cargas de nieve, y además obligando a emplear una mayor potencia para el soplado de aire, lo que conlleva un gasto económico.

1.9.2.4. Cimentación

El digestor anaerobio no cuenta con soportes para mantenerlo sobre el terreno, sino que va enterrado. Podría estar construido completamente sobre el terreno, pero dado que opera a 36°C se necesitarían capas de aislamiento a mayores. Sin embargo al estar semienterrado la propia tierra que rodea al digestor actúa como aislante.

Se asume que el digestor estará enterrado hasta la mitad del cilindro principal, es decir, contando desde la base inferior estarían enterrados unos 7,43 metros, mientras que quedan sobre el terreno 4.44 metros del cilindro principal y la cubierta.

Se puede plantear el enterramiento completo, y de hecho es una práctica habitual en los digestores unifamiliares típicos de China e India. De todos modos el enterrar un digestor de estas dimensiones por completo, dejando únicamente la cubierta, supondría un desplazamiento de cantidades masivas de tierra. Con un digestor semienterrado se consiguen las ventajas del aislamiento térmico en la parte que está enterrada pero no se necesita una inversión económica tan elevada como si se enterrase del todo. En la zona que está sobre el terreno es probable que las pérdidas de calor sean mayores, pero será un gasto del que habrá que hacerse cargo.

1.9.2.5. Accesos para mantenimiento e inspección

Es necesario proporcionar un acceso al interior del reactor y una ventana de inspección en la membrana.

El acceso al interior del reactor se hará mediante una boca de hombre situada a 1.5 metros sobre el terreno en la pared lateral del digestor. Tendrá 0.6 metros de diámetro.

La ventana de inspección de la membrana debe ser encargada al fabricante de la misma y probablemente ya venga incluida por defecto. El propósito de esta ventana es poder ver hacia dentro de la membrana externa por si fuese necesario detectar de forma visual un defecto o un mal funcionamiento en el sistema de doble membrana.

Tabla 16 - Características del digestor R-201

DIGESTOR ANAEROBIO (R-201)	
Dimensionado	
Volumen	1043.16 m ³
Diámetro interno (cilindro)	11.58 m
Diámetro solera	2 m
Altura total(sin cubierta)	11.57 m
Altura cuerpo cilíndrico	8.81 m
Altura enterrada	7.43 m
Cubierta	
Tipo	Doble membrana
Forma	Semiesférica
Fabricante	SATTLER
Modelo	DMGS TM
Diseño mecánico (cuerpo)	
Espesor pared	300 mm
Espesor solera	300 mm
Material	Cemento armado
Aislante	Aluminio corrugado
Agitador	
Tipo	Jet
Fabricante	Transvac
Modelo	Tank Jet Mixer
Material	Acero al carbono
Situación en el tanque (desde el fondo)	5.79 m
Número de unidades	3
Tamaño	3"

1.10. Bomba P-202

Es el equipo encargado de bombear la recirculación desde el interior del reactor hasta otra vez dentro del reactor, salvando las caídas de presión por el intercambiador de calor E-202 y por el sistema de agitación.

La corriente tiene aproximadamente un 5% de sólidos, con lo que el uso de una bomba centrífuga queda totalmente descartado.

Las alternativas más adecuadas para corrientes con sólidos, una vez más, son las bombas de desplazamiento positivo, bombas de émbolos, de cavidad progresiva, de lóbulos o peristálticas.

En este caso cualquiera de ellas sería aceptable para esta operación. Sin embargo la opción más robusta, por necesitar menos mantenimiento pudiendo incluso funcionar en vacío, es una bomba de lóbulos. El caudal que hay que bombear es considerablemente mayor que en el caso de las bombas P-101 y P-201, así que en esta ocasión se selecciona el modelo S16 del fabricante LOBEPRO.

1.10.1. Diseño mecánico

La bomba está fabricada en fundición, acero al carbono y acero inoxidable, además de goma de nitrilo para los sellados. Consta de dos ejes con perfil helicoidal. Cada lóbulo tiene 6 alas.

El fabricante no aporta un rango de temperaturas de trabajo, pero sí indica que se debe contactar con la fábrica antes de utilizar la bomba con fluidos a más de 80 °C.

También se indica que no se deben utilizar fluidos con sólidos duros de tamaño mayor a 3 mm. O sólidos compresibles con tamaño mayor a 19 mm. Se puntualiza que la bomba seguirá funcionando pero puede sufrir daños.

El peso total del cuerpo de la bomba es de 60 kg.

Tabla 17 - Características de la bomba P-202

Bomba (P-202)	
Tipo	Lóbulos
Fabricante	LOBEPRO
Modelo	S16
Potencia (25 psi, 450 rpm)	1.25 kW
Altura máxima autocebado	7.5 m
P máx. de operación	10.3 bar
Caudal máximo	32 m ³ /h
Materiales	Fundición, acero al carbono y acero inoxidable
Tipo de lóbulo	Hélice
Nº de lóbulos	6
Tamaño máx. sólidos blandos	19 mm
Tamaño máx. sólidos duros	3 mm

1.11. Intercambiador de precalentamiento (E-201)

Esta unidad tiene como finalidad recuperar la energía de la corriente de salida de lodos del digester. Es, por tanto, un equipo de integración energética.

1.11.1. Consideraciones previas

Es necesaria la elección del tipo de intercambiador que se va a utilizar, y para ello es necesario conocer la finalidad del intercambiador y las corrientes que participan. Por un lado se parte de una corriente de lodos ya procesada que es de la que se quiere aprovechar la energía calorífica antes de enviarla fuera de la planta. Por otro lado está la corriente de alimentación al reactor, que es la que va a aprovechar la energía que ceda la corriente de lodos.

Recuperando los datos del balance de materia:

- Alimentación al digester:
 - Caudal másico: $86930.96 \frac{kg}{d}$
 - Sólidos totales: $6519.82 \frac{kg ST}{d}$
- Corriente de lodos:
 - Caudal másico: $85481.52 \frac{kg}{d}$
 - Sólidos totales: $3878.30 \frac{kg}{d}$

Se considera que las propiedades de ambas corrientes son iguales a las propiedades del agua.

En este caso no se requiere un fluido calefactor ya que las dos corrientes involucradas son corrientes de proceso.

Para este tipo de fluidos, con un porcentaje ya considerable de sólidos, es conveniente seleccionar bien el tipo de intercambiador que se va a utilizar. Es arriesgado trabajar con un intercambiador de carcasa y tubos y, de hecho, no son muy habituales en este tipo de instalaciones. Eso es debido a que el ensuciamiento que provocan los sólidos obligaría a realizar labores de mantenimiento relativamente cada poco tiempo. Además no proporciona una ventaja de peso como para que la elección se decante por ese tipo de intercambiador. Fundamentalmente para este caso se debate la elección entre un intercambiador de doble tubo o un intercambiador de espiral.

Los intercambiadores de espiral son populares en instalaciones de este tipo donde se trabaja con slurries. El motivo es que son intercambiadores compactos, muy eficientes en términos de espacio porque desarrollan un gran área de intercambio en muy poco volumen, pero además ofrecen una gran facilidad a la hora de realizar las tareas de mantenimiento y limpieza. Y el ensuciamiento es mucho menor. Eso es debido a que la propia dinámica del flujo en espiral provoca que la fuerza que desarrolla el flujo del fluido de proceso contra las paredes del intercambiador hagan un efecto de autolimpieza impidiendo que se depositen fácilmente partículas sobre las superficies de intercambio de calor.

Por otro lado el intercambiador de doble tubo es probablemente el intercambiador de calor más simple que se puede construir. Los problemas de ensuciamiento son relativamente sencillos de atajar con tareas de limpieza y mantenimiento bastante simples.

Por heurísticas el intercambiador de doble tubo no está recomendado para operaciones que requieran más de 200 pies cuadrados de área de intercambio, unos 19 metros cuadrados. Cualquiera de las dos operaciones de intercambio que tienen lugar en este proceso requerirán un área de intercambio mayor que esa y, por tanto, no es adecuado.

La selección del intercambiador de espiral es arriesgada porque al tratarse de un intercambiador tan eficiente, que proporciona unos coeficientes U elevadísimos cabe la posibilidad de que para los caudales que se manejan el intercambiador tenga que ser

demasiado pequeño, lo cual puede ser un problema. Sin embargo es, en principio, la mejor opción que se puede escoger.

1.11.2. Dimensionado y diseño térmico

El dimensionado del intercambiador consiste en calcular el área de intercambio necesaria y determinar las dimensiones del intercambiador de espiral.

Para el diseño del intercambiador en espiral se sigue el método indicado por Thakore y Bhatt²⁹:

i) Cálculo de la carga de calor:

En el Anexo II de balance de energía están explícitos los cálculos para determinar el calor que se intercambia.

$$Q = 57.90 \text{ kW}$$

ii) Selección del medio calefactor:

En este caso el medio calefactor es la corriente de lodos del digestor. Sus propiedades son análogas a las del agua.

iii) Cálculo el caudal másico del medio calefactor:

En este caso no se persigue alcanzar una temperatura concreta sino recuperar energía de la corriente de lodos. Esta corriente tiene un caudal másico de 85481.52 kg/d.

iv) Cálculo de la diferencia de temperaturas media logarítmica:

La diferencia de temperaturas media logarítmica se calcula conociendo las temperaturas de entrada y salida de cada una de las corrientes:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad \text{Ec. 19}$$

²⁹ THAKORE, S.B., BHATT, B.I., Introduction to Process Engineering and Design, Nueva Dheli, Tata McGraw Hill, 2007.

Donde 1 y 2 son los extremos del intercambiador. Al ser la configuración en contracorriente cada extremo es el punto de entrada de una corriente y el punto de salida de la otra. Se definen entonces:

$$\Delta T_1 = 36 - 23.77 = 12.23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 22 - 10 = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Así que, resolviendo la ecuación 19:

$$\Delta T_{ml} = \frac{12.23 - 12}{\ln \frac{12.23}{12}} = 12.11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

v) Estimación del coeficiente global de transmisión de calor, U:

Sabiendo que el coeficiente de transmisión de calor que desarrolla este tipo de intercambiador es muy elevado se estima un valor conservador de $U_0 = 400 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

vi) Estimación del área de intercambio necesaria:

El área de intercambio necesaria se calcula a partir de la ecuación:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml}$$

$$A_0 = \frac{57.90 \cdot 10^3}{400 \cdot 12.11} = 11.95 \text{ } m^2$$

vii) Dimensiones del área de intercambio para el intercambiador en espiral:

Las placas del intercambiador de espiral tienen su área determinada por dos dimensiones:

$$A = 2 \cdot L \cdot H \quad \text{Ec. 20}$$

Donde L y H son las dimensiones (longitud y ancho) de las placas del intercambiador de espiral. El método dice que se fije un ancho y que se calcule a partir de él la longitud.

$$L = \frac{A}{2 \cdot H} \quad \text{Ec. 21}$$

Existen dimensiones estándar para seleccionar el ancho del intercambiador:

Tabla 18 - Dimensiones estándar para el ancho de la placa en un intercambiador de espiral³⁰

Ancho de la placa	
Mm	in
101,6	4
152,4	6
304,8	12
457,2	18
609,6	24
762	30
914,4	36
1219,2	48
1524	60
1828,8	72

Si se busca el diseño más compacto posible se recomienda que el ancho de placa y el diámetro de la espiral sean lo más parecidos posible.

El diámetro de la espiral viene determinado por la siguiente ecuación:

$$D_s = (1.28 \cdot L \cdot (d_c + d_h + 2 \cdot t) + c^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

D_s es el diámetro de la espiral, m

L es la longitud de la placa, m

d_c es el canal de espacio en el lado del fluido frío, m

d_h es el canal de espacio en el lado del fluido caliente, m

t es el espesor de la placa

c es el diámetro del núcleo de la espiral

³⁰ Adaptado de THAKORE, S.B., BHATT, B.I., Introduction to Process Engineering and Design, Nueva Dheli, Tata McGraw Hill, 2007.

Existen valores estándar para los canales de espaciado, dependiendo del ancho de la placa, así como para el núcleo de la espiral y el espesor de la placa:

Tabla 19 - Valores del canal de espaciado en función del ancho de placa³¹

Ancho de placa máximo (mm)	d _c y d _h (mm)
304.8	4.76
1219.2	6.35

El núcleo de la espiral tiene dos posibles valores estándar: 203.2 mm o 304.8 mm.

El espesor de la placa depende del material que se emplee. Para acero al carbono se plantean los siguientes valores: 3.175 mm, 4.76mm, 6.35 mm, 7.94 mm.

Se seleccionará un espesor de placa de 3.175 mm, ya que no se está trabajando con fluidos a presión ni especialmente corrosivos y ese espesor será suficiente.

Como el tamaño del intercambiador será presumiblemente pequeño se selecciona el diámetro del núcleo más pequeño: 203.2 mm.

Por el mismo motivo, ya que el intercambiador es a priori pequeño, se plantea un ancho de placa de 304.8 mm.

Con ese valor del ancho de placa los espaciados deben ser de 4.76 mm.

Haciendo el cálculo con los valores seleccionados:

$$L = \frac{11.95}{2 \cdot 0.3048} = 19.60 \text{ m}$$

$$D_s = (1.28 \cdot 19.60 \cdot (0.00476 + 0.00476 + 2 \cdot 0.003175) + 0.2032^2)^{\frac{1}{2}} = 0.663 \text{ m}$$

El valor del diámetro es demasiado distinto del ancho así que se tantea otro valor de ancho de placa mayor. Se prueba con 457.2 mm. En este caso es necesario cambiar los valores del espaciado, que pasan a ser 6.35 mm.

³¹ Adaptado de THAKORE, S.B., BHATT, B.I., Introduction to Process Engineering and Design, Nueva Dheli, Tata McGraw Hill, 2007.

$$L = \frac{11.95}{2 \cdot 0.4572} = 13.07 \text{ m}$$

$$D_s = (1.28 \cdot 13.07 \cdot (0.00635 + 0.00635 + 2 \cdot 0.003175) + 0.2032^2)^{\frac{1}{2}} = 0.600 \text{ m}$$

Los dos valores siguen sin ser iguales pero son mucho más semejantes. Como se trata de una aproximación y el valor final probablemente varíe bastante se acepta este resultado como bueno y se volverá a esta etapa del diseño en caso de que fuese necesario.

Así que los valores quedan finalmente:

$$H = 0.4572 \text{ m}$$

$$L = 13.07 \text{ m}$$

$$D_s = 0.600 \text{ m}$$

viii) Cálculo del diámetro equivalente de los canales de flujo de ambos fluidos:

En este caso ambos fluidos discurren por canales análogos así que es suficiente con un solo cálculo.

$$D_e = \frac{4 \cdot d \cdot H}{2 \cdot (d + H)} = \frac{4 \cdot 0.00635 \cdot 0.4572}{2 \cdot (0.00635 + 0.4572)} = 0.01253 \text{ m}$$

ix) Cálculo del Reynolds:

Siguiendo la ecuación 23:

$$Re = \frac{2 \cdot m}{H \cdot \mu} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

m es el caudal másico de la corriente correspondiente, kg/s

H es el ancho de la placa, m

μ es la viscosidad del fluido, en este caso equivalente a la del agua, kg/m·s

Haciendo el cálculo para cada corriente:

$$Re_{caliente} = \frac{2 \cdot \frac{85481}{24 \cdot 3600}}{0.4572 \cdot 0.0006} = 7213.24$$

$$Re_{frío} = \frac{2 \cdot \frac{86930.96}{24 \cdot 3600}}{0.4572 \cdot 0.0006} = 7335.56$$

x) Cálculo del Reynolds crítico:

Por encima del $Re_{crítico}$ el flujo se considera turbulento. El $Re_{crítico}$ se calcula siguiendo la ecuación:

$$Re_c = 20000 \cdot \left(\frac{D_e}{D_s}\right)^{0.32} = 5798.84 \quad \text{Ec. 24}$$

Por lo tanto el flujo en ambos casos es turbulento.

xi) Cálculo de los coeficientes de transmisión de calor para el lado caliente y el frío:

Al tratarse de flujo turbulento la correlación que hay que usar a estos efectos es:

$$\frac{h}{C_p \cdot G} = \left(1 + 3.5 \cdot \left(\frac{D_e}{D_s}\right)\right) \cdot \left(0.023 \cdot Re^{-0.2} \cdot Pr^{\frac{2}{3}}\right) \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

h es el coeficiente de transmisión de calor, $W/m^2 \cdot K$

C_p es el calor específico del fluido, $J/kg \cdot K$

G es la velocidad másica del fluido, $kg/m^2 \cdot s$

D_s es el diámetro de la espiral, m

D_e es el diámetro equivalente de las conducciones por las que discurren los fluidos, m

Re es el número de Reynolds

Pr es el número de Prandtl

Se calcula la velocidad másica de cada fluido:

$$G = \frac{m}{A} = \frac{m}{H \cdot d} \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

m es el caudal másico de la corriente, kg/s

A es el área transversal al flujo, m²

H es el ancho de la placa del intercambiador, m

d es el espaciado, m

$$G_{caliente} = \frac{\frac{85481.52}{24 \cdot 3600}}{0.4572 \cdot 0.00635} = 340.78 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$G_{frío} = \frac{\frac{86930.96}{24 \cdot 3600}}{0.4572 \cdot 0.00635} = 346.56 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

Y se calcula el módulo de Prandtl, que en este caso es el mismo para ambos fluidos:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

k es la conductividad térmica del fluido, W/m·K

y las demás propiedades están ya definidas.

$$Pr = \frac{4180 \cdot 0.0006}{0.622} = 4.03$$

Se calculan los coeficientes de transmisión de calor, h, para cada lado del intercambiador:

$$h_{caliente} = \left(1 + 3.5 \cdot \left(\frac{0.01253}{0.600} \right) \right) \cdot \left(0.023 \cdot 7213.24^{-0.2} \cdot 4.03^{-\frac{2}{3}} \right) 4180 \cdot 340.78 = 2379.79 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$h_{frio} = \left(1 + 3.5 \cdot \left(\frac{0.01253}{0.600} \right) \right) \cdot \left(0.023 \cdot 7335.56^{-0.2} \cdot 4.03^{-\frac{2}{3}} \right) 4180 \cdot 346.56 = 2347.99 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

xii) Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor:

Se calcula U con la ecuación 28:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{caliente}} + \frac{1}{h_{frio}} + \frac{1}{h_{ensuc. cal.}} + \frac{1}{h_{ensuc. frio}} + \frac{t}{k_m} \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

$h_{ensuc.}$ son los coeficientes de ensuciamiento en cada lado del flujo, $W/m^2 \cdot K$

t es el espesor de la placa, m

k_m es la conductividad del material del que está fabricada la placa del intercambiador, $W/m \cdot K$

Tabla 20 - Coeficientes de ensuciamiento para distintos tipos de fluidos³²

Fluid	Coefficient ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	Factor (resistance) ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

³² Sinnot, R., *Chemical Engineering Design*, Vol. 6, 4ª ed., Oxford, Ed. Elsevier, 2005, p.640

Para los coeficientes de ensuciamiento se toma un valor de 1500 W/m²·K, como si fuese un agua dura. Se escoge este valor ante la falta de datos para un slurry como el de este proceso porque es un valor alto de la resistencia como el que presumiblemente tiene el slurry con un porcentaje considerable de sólidos. Como ambos fluidos son slurries se asume un mismo valor del factor de ensuciamiento.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2379.79} + \frac{1}{2347.99} + \frac{1}{1500} + \frac{1}{1500} + \frac{0.003175}{43}$$

$$U = 443.80 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

xiii) Recálculo del área de intercambio necesaria aplicando la ecuación 9:

$$A_1 = \frac{57.90 \cdot 10^3}{443.80 \cdot 11.95} = 10.77 \text{ m}^2$$

xiv) Cálculo del porcentaje de exceso del área:

$$\% \text{variación} = \frac{A_0 - A_1}{A_1} \cdot 100 = 11.10\%$$

Que se encuentra entre el 10 y el 20% de exceso y, según el método, se considera correcto.

xv) Cálculo de la caída de presión en ambos lados del intercambiador:

Para ello se emplea la correlación correspondiente a flujo turbulento:

$$\Delta P = 0.0789 \cdot \frac{L}{\rho} \left(\frac{W}{d \cdot H} \right)^2 \cdot \left(\frac{1.3 \cdot \mu^{\frac{1}{3}}}{d + 0.0032} \cdot \left(\frac{H}{W} \right)^{\frac{1}{3}} + 1.5 + \frac{16}{L} \right) \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

ΔP es la caída de presión, Pa

L es la longitud de la placa, m

ρ es la densidad del fluido, kg/m³

W=m caudal másico del fluido, kg/s

d es el espaciado, m

H es el ancho de la placa, m

$$\begin{aligned}\Delta P_{caliente} &= 0.0789 \cdot \frac{13.07}{1000} \left(\frac{340.78}{0.00635 \cdot 0.4572} \right)^2 \cdot \left(\frac{1.3 \cdot 0.0006^{\frac{1}{3}}}{0.00635 + 0.0032} \cdot \left(\frac{0.4572}{340.78} \right)^{\frac{1}{3}} + 1.5 + \frac{16}{10.45} \right) \\ &= 1460.61 \text{ Pa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P_{frio} &= 0.0789 \cdot \frac{13.07}{1000} \left(\frac{346.56}{0.00635 \cdot 0.4572} \right)^2 \cdot \left(\frac{1.3 \cdot 0.0006^{\frac{1}{3}}}{0.00635 + 0.0032} \cdot \left(\frac{0.4572}{346.56} \right)^{\frac{1}{3}} + 1.5 + \frac{16}{10.45} \right) \\ &= 1418.35 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Las caídas de presión en cualquiera de los dos lados son realmente pequeñas así que no presentan ningún problema. Por lo tanto se acepta este diseño como diseño correcto.

Haciendo una recopilación de las dimensiones de este intercambiador de espiral:

- L = 13.07 m
- H = 0.4572 m
- c = 0.2032 m
- d = 0.00635 m
- D_s = 0.600 m

Finalmente el diámetro y el ancho del intercambiador tienen valores bastante semejantes, así que se considera que el dimensionado está correcto y terminado.

1.11.3. Diseño mecánico

Para el diseño de este intercambiador se han aplicado las indicaciones descritas en el método de diseño utilizado

Por recomendación de la bibliografía el espesor de las placas que componen el cuerpo del intercambiador de espiral será 3.175 mm.

El material de construcción es acero al carbono. No hay necesidad de emplear un material distinto al indicado en la bibliografía consultada.

Tabla 21 - Características del intercambiador E-201

Intercambiador de calor (E-201)	
Tipo	Espiral
Dimensionado	
Área de intercambio	11.95 m ²
Diámetro espiral	0.600 m
Diámetro núcleo	0.2032 m
Longitud placa	13.07 m
Ancho placa	0.4572 m
Espaciado entre placas (lado caliente)	6.35 mm
Espaciado entre placas (lado frío)	6.35 mm
Calor intercambiado	57.90 kW
Diseño mecánico (cuerpo)	
Espesor placa	3.75 mm
Material	Acero al carbono

1.12. Intercambiador externo del reactor (E-202)

1.12.1. Consideraciones previas

Este intercambiador cumple dos funciones: Terminar de calentar la corriente de alimentación hasta la temperatura de operación, 36 grados, y compensar las pérdidas caloríficas del digestor.

Para compensar las pérdidas del digestor se plantean dos opciones: calentar la alimentación en exceso, de modo que la propia alimentación caliente el contenido del reactor y compense las pérdidas de calor, o extraer parte del contenido del reactor y hacerlo pasar por el intercambiador junto con la corriente de alimentación.

El problema de utilizar la alimentación fresca para compensar las pérdidas de calor del digestor es que habría que calentar toda la alimentación por encima de la temperatura de operación. Estos cambios rápidos de temperatura pueden provocar que los procesos microbiológicos que se desarrollan sufran cambios o incluso que los propios microorganismos se vean afectados. Por ese motivo se toma la decisión de extraer parte del contenido del reactor y reintroducirlo junto con la alimentación después de haber calentado todo hasta un poco por encima de la temperatura de operación.

De nuevo se plantea la disyuntiva de la selección del tipo de intercambiador que es preferible utilizar. Del mismo modo que en el caso del intercambiador de recuperación energética, se opta por un intercambiador de espiral.

La corriente de alimentación al digestor tiene un caudal másico de $86930.96 \frac{kg}{d}$ (1.01 kg/s) y un a temperatura de 23.77 °C.

En este caso se sabe que la corriente que se calienta en el intercambiador es fruto de la mezcla de la corriente de alimentación al digestor y de una corriente de caudal todavía indeterminado que se utilizará para compensar las pérdidas de calor del reactor. Además la energía que hay que transmitir a la corriente de mezcla será igual a la energía necesaria para calentar la alimentación del digestor más la energía necesaria para compensar las pérdidas de calor.

Tanto la energía necesaria para llevar la corriente de alimentación a la temperatura de operación como la energía que hay que reponer de las pérdidas caloríficas están calculadas en el Anexo II de balance de energía:

- Energía requerida por la corriente de alimentación: 51.45 kW
- Energía requerida para compensar las pérdidas de calor: 16.61 kW

El caudal que hay que retirar del digestor para hacerlo pasar por el intercambiador, así como la temperatura de la corriente de salida del intercambiador, dependerá de la cantidad de calor que hay que aportar, que se cuantifica en calor aportado a la alimentación fresca + calor de pérdidas:

$$Q = 51.45 + 16.61 = 68.06 \text{ kW}$$

Este calor hay que aportarlo a una corriente de caudal todavía desconocido, fruto de la mezcla de la alimentación fresca (1.01 kg/s y 23.77 °C) y la recirculación, a 36 °C.

$$Q = (1.01 + m) \frac{kg}{s} \cdot 4.18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (T_2 - T_1) \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

m es el caudal de recirculación

T₁ es la temperatura de la corriente de entrada al intercambiador

T_2 es la temperatura de la corriente de salida del intercambiador

T_1 es un valor que depende de m según la ecuación 31:

$$T_1 = \frac{m_{alim.} \cdot T_{alim.} + m \cdot T_{recirc.}}{m_{alim.} + m} \quad \text{Ec. 31}$$

Llegados a este punto se afronta un sistema con una ecuación y dos incógnitas, un sistema indeterminado. La forma de proseguir con el cálculo es fijando una de las variables, bien sea el caudal recirculado o la temperatura de salida. En este caso se fija la temperatura de salida en 37.5 °C.

Entonces en la ecuación 30 se puede despejar el caudal recirculado, que tiene un valor de:

$$m = 1.64 \frac{kg}{s}$$

Con lo que el caudal de la corriente de mezcla es:

$$m_{mezcla} = 1.64 + 1.01 = 2.65 \text{ kg/s}$$

Y la temperatura de la mezcla tiene un valor de:

$$T_1 = 31.35 \text{ } ^\circ C$$

El fluido calefactor en este caso será agua de calefacción. No se puede utilizar vapor, y de hecho hay que poner una restricción a la temperatura del agua, porque una temperatura demasiado elevada podría provocar problemas. Al estar trabajando con slurries, aunque estén bastante diluidos, los biosólidos pueden verse afectados por temperaturas elevadas. El problema se conoce como "caking" y es básicamente la coagulación de los sólidos entre sí, como si se cocinasen, que se depositaría en las paredes del intercambiador pudiendo llegar a impedir el paso y, en cualquier caso, inhibiendo la acción microbiana mesófila.

La solución para que no se de este problema es no utilizar temperaturas demasiado elevadas en el fluido calefactor, en este caso agua. El límite está en los 68 °C³³. Cuanto mayor sea la temperatura del agua de calefacción mejor será la transmisión de calor, pero para prevenir

³³ Metcalf & Eddy., TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., *Wastewater engineering: Treatment and reuse, Vol III*, 4ª ed., Boston, McGraw-Hill, 2003, p.1529

que se produzca el caking se selecciona como fluido de calefacción agua a 60 °C. El caudal de agua necesario dependerá de la temperatura de salida del agua. Se establece una diferencia de temperaturas de 15 °C, saliendo a 45 °C. Según esto se calcula el caudal de agua de calefacción necesario:

$$m_{\text{agua calefacción}} = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta T} = \frac{68.06}{4.18 \cdot (60 - 45)} = 1.09 \frac{kg}{s}$$

1.12.2. Dimensionado y diseño térmico

Análogamente a lo calculado para el intercambiador de precalentamiento se sigue el método de diseño para el intercambiador de espiral propuesto por Thakore y Bhatt³⁴:

i) Cálculo de la carga:

Como se calculó en el apartado anterior en el intercambiador ha de transmitirse una potencia de 68.05 kW.

ii) Selección del medio de calefacción:

En este caso el medio de calefacción será agua a 60 °C.

iii) Cálculo del caudal másico del medio de calefacción:

En el apartado de consideraciones previas se ha determinado que el agua debe entrar en el intercambiador a 60 grados, y que saldrá 15 grados por debajo, a 45. Según eso se calcula el caudal másico necesario:

$$74.37 \text{ kW} = m \cdot 4.18 \cdot (60 - 45)$$

$$m = 1.09 \text{ kg/s}$$

iv) Cálculo de la diferencia de temperaturas media logarítmica:

Como se ha calculado en el apartado anterior la corriente de entrada al intercambiador tiene una temperatura de 31.35 °C. Esta corriente sale a 37.5 °C.

El agua de calefacción entra a 60 °C y sale a 45 °C.

³⁴ THAKORE, S.B., BHATT, B.I., Introduction to Process Engineering and Design, Nueva Dheli, Tata McGraw Hill, 2007.

Según esto, y sabiendo que la configuración es en contracorriente, la diferencia de temperatura media logarítmica se calcula aplicando la ecuación 19:

$$\Delta T_1 = 60 - 37.5 = 22.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 45 - 31.35 = 13.65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Así que, resolviendo la ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{22.5 - 13.65}{\ln \frac{22.5}{13.65}} = 17.70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

v) Asumir un valor del coeficiente global de transmisión de calor:

Igual que en el apartado anterior se asume un valor conservador para este tipo de intercambiador de $400 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

vi) Cálculo del área de intercambio necesaria:

$$A_0 = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{68.06 \cdot 10^3}{400 \cdot 17.70} = 9.61 \text{ m}^2$$

vii) Dimensiones del área de intercambio para el intercambiador en espiral:

Siguiendo el método se debe escoger un ancho de una serie de medidas estándar y a partir de él calcular la longitud de la placa con la ecuación 21.

Las dimensiones estándar para seleccionar el ancho del intercambiador están recopiladas en la tabla 18.

Si se busca el diseño más compacto posible se recomienda que el ancho de placa y el diámetro de la espiral sean lo más parecidos posible.

El diámetro de la espiral viene determinado por la ecuación 22.

Existen valores estándar para los canales de espaciado, dependiendo del ancho de la placa, así como para el núcleo de la espiral y el espesor de la placa. Están descritos en la tabla 19.

El núcleo de la espiral tiene dos posibles valores estándar: 203.2 mm o 304.8 mm.

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

El espesor de la placa depende del material que se emplee. Para acero al carbono se plantean los siguientes valores: 3.175 mm, 4.76mm, 6.35 mm, 7.94 mm.

Se seleccionará un espesor de placa de 3.175 mm, ya que no se está trabajando con fluidos a presión ni especialmente corrosivos y ese espesor será suficiente.

Como el tamaño del intercambiador será presumiblemente pequeño se selecciona el diámetro del núcleo más pequeño: 203.2 mm.

Por el mismo motivo, ya que el intercambiador es a priori pequeño, se plantea un ancho de placa de 304.8 mm.

Con ese valor del ancho de placa los espaciados deben ser de 4.76 mm.

Haciendo el cálculo con los valores seleccionados:

$$L = \frac{9.61}{2 \cdot 0.3048} = 15.77 \text{ m}$$

$$D_s = (1.28 \cdot 15.77 \cdot (0.00476 + 0.00476 + 2 \cdot 0.003175) + 0.2032^2)^{\frac{1}{2}} = 0.601 \text{ m}$$

El valor del diámetro es demasiado distinto del ancho así que se tantea otro valor de ancho de placa mayor. Se prueba con 457.2 mm. En este caso es necesario cambiar los valores del espaciado, que pasan a ser 6.35 mm.

$$L = \frac{9.61}{2 \cdot 0.4572} = 10.51 \text{ m}$$

$$D_s = (1.28 \cdot 10.51 \cdot (0.00635 + 0.00635 + 2 \cdot 0.003175) + 0.2032^2)^{\frac{1}{2}} = 0.546 \text{ m}$$

Los dos valores siguen sin ser iguales pero son mucho más semejantes. Como se trata de una aproximación y el valor final puede que varíe bastante se acepta este resultado como bueno y se volverá a esta etapa del diseño en caso de que fuese necesario.

Así que los valores quedan finalmente:

$$H = 0.4572 \text{ m}$$

$$L = 10.51 \text{ m}$$

$$D_s = 0.546 \text{ m}$$

viii) Cálculo del diámetro equivalente de los canales de flujo de ambos fluidos:

En este caso ambos fluidos discurren por canales análogos así que es suficiente con un solo cálculo.

$$D_e = \frac{4 \cdot d \cdot H}{2 \cdot (d + H)} = \frac{4 \cdot 0.00635 \cdot 0.4572}{2 \cdot (0.00635 + 0.4572)} = 0.01253 \text{ m}$$

ix) Cálculo del Reynolds:

El Reynolds se calcula según la ecuación 23.

Haciendo el cálculo para cada corriente:

$$Re_{caliente} = \frac{2 \cdot 1.09}{0.4572 \cdot 0.0006} = 7914.56$$

$$Re_{frío} = \frac{2 \cdot 2.65}{0.4572 \cdot 0.0006} = 19319.47$$

x) Cálculo del Reynolds crítico:

Por encima del $Re_{crítico}$ el flujo se considera turbulento. El $Re_{crítico}$ se calcula siguiendo la ecuación 24:

$$Re_c = 5977.96$$

Por lo tanto el flujo en ambos casos es turbulento.

xi) Cálculo de los coeficientes de transmisión de calor para el lado caliente y el frío:

Al tratarse de flujo turbulento la correlación que hay que usar a estos efectos es la ecuación 25:

$$\frac{h}{C_p \cdot G} = \left(1 + 3.5 \cdot \left(\frac{D_e}{D_s} \right) \right) \cdot \left(0.023 \cdot Re^{-0.2} \cdot Pr^{-\frac{2}{3}} \right)$$

Se calcula la velocidad másica de cada fluido según la ecuación 26:

$$G_{caliente} = \frac{1.09}{0.4572 \cdot 0.00635} = 373.92 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$G_{frío} = \frac{2.65}{0.4572 \cdot 0.00635} = 912.73 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

Y se calcula el módulo de Prandtl, que en este caso es el mismo para ambos fluidos, con la ecuación 27:

$$Pr = \frac{4180 \cdot 0.0006}{0.622} = 4.03$$

Se calculan los coeficientes de transmisión de calor, h, para cada lado del intercambiador:

$$h_{caliente} = \left(1 + 3.5 \cdot \left(\frac{0.01253}{0.546} \right) \right) \cdot \left(0.023 \cdot 7914.56^{-0.2} \cdot 4.03^{-\frac{2}{3}} \right) 4180 \cdot 373.92 = 2546.09 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$h_{frío} = \left(1 + 3.5 \cdot \left(\frac{0.01253}{0.546} \right) \right) \cdot \left(0.023 \cdot 19319.47^{-0.2} \cdot 4.03^{-\frac{2}{3}} \right) 4180 \cdot 912.73 = 5199.09 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

xii) Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor:

Se calcula U aplicando la ecuación 28:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2546.09} + \frac{1}{5199.09} + \frac{1}{1500} + \frac{1}{1500} + \frac{0.003175}{43}$$

$$U_1 = 501.94 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

xiii) Recálculo del área de intercambio necesaria con la ecuación 9:

$$A_1 = \frac{68.06 \cdot 10^3}{501.94 \cdot 17.70} = 7.66 m^2$$

xiv) Cálculo del porcentaje de exceso del área:

$$\%variación = \frac{A_0 - A_1}{A_1} \cdot 100 = 25.48 \%$$

Un 25% de área en exceso es un valor demasiado alto. Sin embargo si se repite el método tomando como U el U_1 calculado el nuevo porcentaje de área en exceso será muy bajo, menor que el valor deseable según el método (entre el 10 y el 20%) debido a que el método converge muy rápido. Se toma la decisión de adoptar como valor de U_1 un término medio entre ambas iteraciones, que corresponde alrededor de $450 W/m^2 \cdot K$

De este modo los parámetros calculados pasan a ser:

- $A_1 = 8.54 m^2$

- $L = 9.34 \text{ m}$
- $D_s = 0.519 \text{ m}$

Con estos valores se calculan los coeficientes h y el coeficiente global U_2 , del mismo modo que se hizo en la primera ocasión ya que el flujo sigue siendo turbulento:

- $h_{\text{caliente}} = 2555.86 \text{ W/m}^2$.
- $h_{\text{frío}} = 5219.04 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- $U_2 = 502.50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Y con esto se calcula de nuevo el área de contacto necesaria:

- $A_2 = 7.65 \text{ m}^2$

Y el porcentaje de exceso:

$$\% \text{variación} = \frac{A_1 - A_2}{A_2} \cdot 100 = 11.67 \%$$

Que es un valor dentro del rango recomendado por el método, entre el 10 y el 20%, así que los parámetros arriba listados correspondientes a $U_1 = 450 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ son los definitivos.

xv) Cálculo de la caída de presión en ambos lados del intercambiador:

Para ello se emplea la correlación correspondiente a flujo turbulento, la ecuación 29

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{caliente}} &= 0.0789 \cdot \frac{9.34}{1000} \left(\frac{373.92}{0.00635 \cdot 0.4572} \right)^2 \cdot \left(\frac{1.3 \cdot 0.0006^{\frac{1}{3}}}{0.00635 + 0.0032} \cdot \left(\frac{0.4572}{373.92} \right)^{\frac{1}{3}} + 1.5 + \frac{16}{9.34} \right) \\ &= 1242.90 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{frío}} &= 0.0789 \cdot \frac{9.34}{1000} \left(\frac{912.73}{0.00635 \cdot 0.4572} \right)^2 \cdot \left(\frac{1.3 \cdot 0.0006^{\frac{1}{3}}}{0.00635 + 0.0032} \cdot \left(\frac{0.4572}{912.73} \right)^{\frac{1}{3}} + 1.5 + \frac{16}{9.34} \right) \\ &= 6019.90 \text{ Pa} \end{aligned}$$

La caída de presión en el lado del fluido frío es mucho mayor debido al mayor caudal que circula por ese lado. Sin embargo es un valor muy bajo así que se considera adecuado.

Haciendo una recopilación de las dimensiones de este intercambiador de espiral:

- $L = 9.34 \text{ m}$

- $H = 0.4572 \text{ m}$
- $c = 0.2032 \text{ m}$
- $d = 0.00635 \text{ m}$
- $D_s = 0.519 \text{ m}$

Finalmente el diámetro y el ancho del intercambiador tienen valores bastante semejantes, así que se considera que el dimensionado está correcto y terminado.

1.12.3. Diseño mecánico

Para el diseño de este intercambiador se han aplicado las indicaciones descritas en el método de diseño utilizado

Por recomendación de la bibliografía el espesor de las placas que componen el cuerpo del intercambiador de espiral será 3.175 mm.

El material de construcción es acero al carbono. No hay necesidad de emplear un material distinto al indicado en la bibliografía consultada.

Tabla 22 - Características del intercambiador E-202

Intercambiador de calor (E-202)	
Tipo	Espiral
Dimensionado	
Área de intercambio	9.55 m ²
Diámetro espiral	0.544 m
Diámetro núcleo	0.2032 m
Longitud placa	10.44 m
Ancho placa	0.4572 m
Espaciado entre placas (lado caliente)	6.35 mm
Espaciado entre placas (lado frío)	6.35 mm
Calor intercambiado	74.37 kW
Diseño mecánico (cuerpo)	
Espesor placa	3.75 mm
Material	Acero al carbono

1.13. Tanque de almacenamiento de lodos T-301

Para el buen funcionamiento del filtro en régimen discontinuo se necesita un tanque de almacenamiento anterior para contener suficiente fluido para alimentar al filtro en la etapa de

funcionamiento. El filtro funcionará 8 horas al día así que el tanque tendrá que almacenar los lodos de las 16 horas restantes.

1.13.1. Dimensionado

El tanque tiene que contener los lodos correspondientes a 16 horas de operación de la planta, lo cual es equivalente a un volumen de:

$$V = 85.48 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{16h}{24h} = 56.99 m^3$$

Y aplicando un sobredimensionamiento del 20%:

$$V_{diseño} = 1.2 \cdot 56.99 = 68.38 m^3$$

Será un tanque agitado para evitar sedimentaciones y cilíndrico, de tal modo que la relación altura diámetro tenga un valor de 2. El volumen, en función del diámetro, es:

$$V = 68.38 m^3 = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot D = \pi \cdot \frac{2 \cdot D^3}{4}$$

De lo que se deduce que:

$$D = 5.15 m$$

$$H = 5.15 m$$

1.13.2. Diseño mecánico

El tanque estará construido en acero al carbono. No hay necesidad de emplear otro material, pues no se emplea un fluido corrosivo ni abrasivo.

El tanque opera a presión atmosférica, por lo que no hay necesidad de diseñarlo como un recipiente a presión. Un espesor de 3.5 mm que incluye 2 mm adicionales para la corrosión, es suficiente.

El tanque contará con un agitador mecánico de hélice cuyo diámetro será 1/3 del diámetro del tanque, es decir, alrededor de 1.7 m.

El tanque estará orientado en vertical para permitir un buen mezclado, y estará soportado por una falda, también de acero al carbono.

Tabla 23 - Características del tanque TK-301

Tanque (TK-301)	
Volumen	68.38 m ³
Diámetro	5.15 m
Altura	5.15 m
Material de construcción	Acero al carbono
Espesor	3.5 mm
Orientación	Vertical
Soporte	Falda
Agitador mecánico	
Tipo	Sumergible de hélice
Fabricante	Landia
Diámetro impulsor	1700 mm
Velocidad impulsor	46 rpm
Potencia	4 kW

1.14. Filtro F-301

El papel de este equipo es retirar parte del agua de la corriente de lodos que sale del reactor. Esta corriente sale con algo menos de un 5% de sólidos, y con esa cantidad de agua es complicado utilizar esa corriente para un posterior tratamiento, cualquiera que sea.

Siguiendo con la propuesta que se había indicado en la memoria, se plantea que la siguiente etapa para los lodos sea un proceso de compostaje. De todos modos una práctica típica en estos casos antes de enviar los lodos a compostaje es mezclarlos con paja para mejorar la relación C/N hasta un valor adecuado.

Una corriente de entrada de una etapa de compostaje tiene alrededor de un 65% de humedad. Teniendo en cuenta que habrá que mezclar la salida de lodos de la planta con paja seca, un valor adecuado para la salida de lodos es un 20% de sólidos, 80% de humedad.

Se propone un ciclo de funcionamiento de 8 horas diarias.

Se selecciona un filtro de banda de la marca SEBRIGHT Inc., una solución compacta que incluye un etapa de bombeo para salvar la pérdida de presión que supone el paso por el filtro, otra

etapa de bombeo para retirar el agua de filtrado y los dispositivos correspondientes para la dosificación del polímero.

1.14.1. Diseño mecánico

El filtro se presenta en forma de solución compacta. El equipo utilizado para el bombeo de lodos es una bomba de lóbulos. El tejido de la banda de filtrado es básicamente poliéster. En este filtro se emplea un primer rodillo de presión de diseño patentado. Los demás rodillos de presión están contruidos también en acero inoxidable con lo que no necesitan recubrimientos.

La corriente de lodo deshidratado asciende por una cinta transportadora incluida en el diseño del equipo.

La estructura del equipo está fabricada en acero inoxidable de calidad 340SS. Existen varios accesos y plataformas para la inspección, que también están contruidos en acero inoxidable.

Las válvulas de control del sistema son válvulas neumáticas. El equipo incluye también un compresor de aire.

Tabla 24 - Características del filtro F-301

Filtro (F-301)	
Tipo	Filtro de banda
Consumo	28.8 kW
Dimensionado	
Largo (sin cinta transportadora)	6.51 m
Ancho (sin cinta transportadora)	3.43 m
Alto (sin cinta transportadora)	3.04 m
Diseño mecánico	
Material rodillos	Acero inoxidable
Material plataformas	Acero inoxidable
Accesorios	
Bomba de impulsión de lodos (lóbulos)	
Compresor	
Sistema de dosificación de polímero	
Cinta transportadora de retirada de lodo deshidratado	
Plataformas de acceso e inspección	

1.15. Cogeneración (CG-301)

El equipo de cogeneración es el encargado de convertir la corriente de biogás en energía eléctrica y calorífica que se puede utilizar, principalmente, para abastecer la planta.

En esta planta de digestión anaerobia se producen 1424.33 m³ de biogás (65% metano) a 36 °C cada día, que son 55.32 Sm³/h (condiciones estándar: 15°C y 1 atm).

Se contabilizan unas pérdidas de biogás en el digestor y en las conducciones de un 1.5% en volumen, así que el volumen que se maneja para la cogeneración es 1402.97 m³/d a 36 grados, que son 54.49 Sm³/h.

Se selecciona un equipo del fabricante Enerblu. El modelo REC 2 120 BIO.

Se trata de un equipo que tiene una capacidad de tratar 60.4 Sm³/h, con lo que se adapta a esta producción, dejando un pequeño margen de sobredimensionamiento de un 10%. Con este equipo la producción eléctrica será de 123 kW y la potencia calorífica, 181 kW.

El rendimiento eléctrico es del 35.8%. El rendimiento térmico es del 52.8%. La potencia teórica que se produce en la cogeneración es de 339.23 kW (véase Anexo II - Balance de energía). Por lo tanto en el equipo de cogeneración se producirán 121.45 kW de energía eléctrica y 179.11 kW de energía calorífica.

1.15.1. Diseño mecánico

El equipo de cogeneración es un equipo compacto que se distribuye en una cabina, o container. Esta cabina está insonorizada para disminuir los impactos por ruido.

El equipo de producción de energía eléctrica cuenta con un motor a gas conectado a un generador síncrono.

El equipo de recuperación térmica se fundamenta en un intercambiador de calor de placas agua-agua, construido en acero inoxidable (AISI 316 L), y un intercambiador de carcasa y tubos para calentar agua con los gases de escape de la combustión, también en acero inoxidable.

Existe un sistema de enfriamiento auxiliar en caso de que sea necesario atajar una subida inesperada de temperatura.

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

Además la cabina cuenta con dispositivos típicos de una instalación ATEX, así como con supresores de ruido fabricados en acero inoxidable.

Los accesos al interior del equipo para tareas de revisión o mantenimiento se hacen a través de varias puertas situadas en el lateral de la cabina y en las cabezas.

Tabla 25 - Características del equipo de cogeneración CG-301

Cogeneración (CG-301)		
Tipo		CHP
Fabricante		Enerblu
Modelo		REC 2 120 BIO
Largo		6058 mm
Ancho		2438 mm
Alto		2591 mm
Necesidad de espacio		800 mm en todos los sentidos
Capacidad biogás		60.4 Sm ³ /h
Potencia teórica suministrada		343 kW
Rendimiento eléctrico		35.8%
Rendimiento térmico		52.8 %
Rendimiento global		88.6 %
Producción eléctrica		123 kW
Producción térmica		181kW
Emisiones	NOx	<500 mg/Nmc (5% O ₂)
	CO	<650 mg/Nmc (5% O ₂)

1.16. Tuberías

1.16.1. Normativa de aplicación

El diseño y el cálculo de las tuberías de la planta pueden regirse por varias normativas publicadas por distintas instituciones. En este caso se sigue la normativa del American National Standards Institute correspondiente a tuberías y conducciones, contenidas en ANSI B31.

También existen otras normas como las publicadas por el American Petroleum Institute, de gran peso, especialmente en el campo del Oil & Gas.

1.16.2. Diseño de tuberías

Es necesario proporcionar una información mínima acerca de las tuberías que conectan los distintos equipos de esta planta. En el presente apartado se especifican los valores de diámetro y material seleccionados para la tubería de cada una de las corrientes.

1.16.2.1. Material de construcción

El material de construcción de todas las tuberías de la planta será acero al carbono. Se están manejando sólidos, pero no son abrasivos, ni corrosivos. Lo mismo ocurre con los fluidos de proceso. Por lo tanto no existe motivo para decantarse por una opción diferente a la más habitual y más económica.

1.16.2.2. Diámetro

Para una tubería cualquiera por la que circule un determinado caudal existirá un diámetro óptimo desde el punto de vista económico. Con este enfoque se tienen en cuenta dos factores:

- El coste de bombeo, que disminuye al aumentar el diámetro de la conducción.
- El coste de la propia conducción, que aumenta al aumentar su diámetro.

El diámetro óptimo de las tuberías para un flujo turbulento se calcula siguiendo la ecuación³⁵:

$$d_{\text{óptimo}} = 293 \cdot G^{0.53} \cdot \rho^{-0.37} \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

$d_{\text{óptimo}}$ es el diámetro interno económicamente óptimo, en mm

G es el caudal másico, en kg/s

ρ es la densidad del fluido, en kg/m³

Además, según se explicita en la bibliografía esta correlación no debería variar con el tiempo, pues en el desarrollo en coste de la energía, que puede variar, tiene un peso pequeño.

³⁵ Sinnott, R., *Chemical Engineering Design*, Vol. 6, 4ª ed., Oxford, Ed. Elsevier, 2005, p.221.

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

Haciendo ese cálculo se desarrolla la tabla 26, de corrientes. Se indican los resultados de aquellas corrientes de proceso que requieren de tuberías. Los números de corriente indicados se corresponden con los planos adjuntos.

Para las partes de la planta que funcionan en discontinuo se han adaptado los caudales al ciclo de funcionamiento previsto.

Los diámetros nominales indicados son propuestos de acuerdo con los estándares ANSI/ASME de tuberías.

La densidad del biogás se estima en 1.22 kg/Nm³, lo que trasladado a 36 grados, que es la temperatura de operación:

$$D_{36} = D_0 \cdot \frac{273.15}{(273.15 + 36)} = 1.08 \frac{kg}{m^3}$$

Tabla 26- Diámetro óptimo y diámetro nominal seleccionado para las tuberías de proceso

Nº de corriente	Descripción	Caudal másico (kg/s)	D _{óptimo} (mm)	D _{nominal} (mm)
2	Lodos	0,984	22,5	25
7	Lodo+RSU	1,006	22,8	20
8	Lodo+RSU	1,006	22,8	20
9	Lodo+RSU	1,006	22,8	20
10	Recirculación	1,644	30,2	32
11	Recirculación	1,644	30,2	32
12	Alim.+Recirc.	2,650	39,6	40
13	Alim.+Recirc.	2,650	39,6	40
14	Digerido	0,989	22,6	25
15	Digerido	0,989	22,6	25
16	Digerido	0,989	22,6	25
17	Digerido	2,968	42,3	50
19	Filtrado	0,765	19,5	20
20	Biogás	0,017	27,7	32

Todas las tuberías seleccionadas tienen Schedule 40.

1.16.3. Accesorios

Se contempla especialmente el uso de un accesorio para la mezcla de dos corrientes.

Se propone la instalación de un mezclador estático para el punto donde se mezclan las corrientes de alimentación fresca y recirculación, justo antes del intercambiador E-202.

El mezclador estático es un dispositivo fijo que hace las veces de tubería pero admite la entrada de dos corrientes y las dirige mediante deflectores en la cara interna del tubo, de forma que la mezcla de ambas corrientes es muy buena.



Figura 8 - Mezcladores estáticos de PVC que muestran los deflectores internos (Koflo Corporation)

ANEXO IV - Sistema de control

1. Introducción

El sistema de control es el conjunto de dispositivos y elementos de control que modifican los parámetros de operación para mantener las variables de proceso entorno a unos valores determinados. En este caso se manejan sólidos y líquidos así que los elementos de control serán no sólo válvulas de control sino también dispensadores de sólidos o dosificadores.

El hecho de tener tanques de almacenamiento de residuos permite no tener que utilizar las cintas transportadoras como método de alimentación directa de RSU y, por tanto, no tener que utilizarlas como elemento final de control. El elemento final de control en el caso del manejo de sólidos serán las tolvas y en el caso del manejo de líquidos será una válvula de control.

El objetivo de la planta, además del aprovechamiento energético de los residuos, es dar salida a los lodos de la planta de tratamiento de aguas de Treviso. Por ese motivo el sistema de control debe adaptar el proceso para asumir la entrada de un caudal de lodos variable. Dependiendo de la época del año o a causas circunstanciales puntuales el volumen de agua que llega a la planta de tratamiento de aguas puede ser mayor o menor que el valor medio con el que se diseña. Por ese motivo se introdujeron en la planta tanques de almacenamiento de residuos y se debe tener en cuenta a la hora de diseñar el sistema de control.

1.1. Temperatura

El calentamiento de la alimentación del digestor se produce en dos etapas: Un precalentamiento con los lodos de salida del digestor y un calentamiento final con agua de calefacción. El precalentamiento es importante en términos económicos porque ahorra el uso de agua de calefacción, pero no presenta un peligro para el proceso. La temperatura a la salida de este intercambiador en ningún caso va a ser mayor que la temperatura de entrada del digerido, que ronda los 36 °C, así que no presenta un problema. Sin embargo en el caso del segundo intercambiador, el E-202, como se utiliza agua de calefacción como medio calefactor, podría darse el caso de que se dañase el fluido de proceso. Ya que el fluido de proceso es un slurry formado por agua y RSU con un 7.5% de materia seca es necesario tener en cuenta que nunca deben sobrepasarse los 68 °C para evitar que se produzca "caking". El "caking"

supondría una especie de cocinado de los sólidos que puede provocar dificultades para su manejo y, desde luego, para su procesado, pudiendo llegar a impedir la operabilidad de la planta completa.

1.2. Caudal

Es necesario el control de los caudales de alimentación al proceso para incorporar cantidades proporcionales de residuos sólidos y lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales.

No se actuará sobre el caudal de lodos de depuradora ya que se pretende abarcar todo aunque tenga ligeras variaciones, pero se debe controlar el caudal de residuos que se añade al tanque de mezcla para que el resultado sea una corriente con un 7.5% de materia seca aproximadamente.

1.3. Nivel

El nivel es un parámetro clave no tanto para el proceso sino para la seguridad en la planta. Es necesario controlar el nivel dentro del digestor para evitar desbordamientos o mal funcionamiento de la membrana o, en general, una situación de riesgo. Pero además es necesario controlar el nivel del tanque de mezcla para evitar desbordamientos y los tanques de almacenamiento de RSU sin acondicionar y acondicionado por el mismo motivo.

2. Lazo 101

- Variable controlada: Relación de alimentación entre lodos y RSU.
- Variable manipulada: Velocidad del dosificador de sólidos

El caudal de lodos que provienen de la planta de tratamiento de aguas residuales es variable. Dependerá de la cantidad de aguas residuales que tenga que tratar la EDAR en cada momento. Depende de factores estacionales, climáticos, sociales, etc. En cualquier caso se persigue tratar todos los lodos que produzca la planta. Por lo tanto la alimentación de lodos será variable, y para no alimentar una corriente diluida o concentrada en exceso en términos de materia seca es necesario controlar la relación entre los lodos que vienen de la planta y los RSU orgánicos que se aportan.

Se trata de mantener una concentración de sólidos constante en la corriente de salida. Se asume que los lodos, que vienen de los decantadores de la planta de tratamiento de aguas residuales, tienen una concentración de sólidos constante, alrededor del 3.5%. Dependiendo del caudal de lodos habrá que aportar más o menos RSU.

Si el caudal de lodos aumenta habrá que aportar más RSU para no obtener una corriente diluida, por lo que se aumenta la velocidad del dosificador de sólidos.

Si el caudal de lodos disminuye hay que aportar menos RSU para no concentrar demasiado la corriente, por lo tanto se reduce la velocidad del dosificador de sólidos.

Se trata de un lazo de control feedforward. Las perturbaciones ocurren sobre el caudal de la corriente de entrada de lodos. Cuando una perturbación entra en el sistema, se detecta y se actúa sobre ella aguas abajo con la finalidad de atajarla y que no siga siendo una perturbación aguas abajo. En este caso la perturbación en términos de caudal sigue existiendo, pero en términos de relación entre alimentación de lodos y de RSU, que es la variable controlada, no.

3. Lazo 102

El nivel en el tanque de mezcla es un parámetro que debe ser controlado para evitar desbordamientos.

- Variable controlada: Nivel en el tanque de mezcla V-101
- Variable manipulada: Porcentaje de apertura de la válvula de la corriente de salida del tanque de mezcla

Existen dos formas de controlar el nivel del tanque: manipulando la entrada y manipulando la salida. Ya que se está intentando admitir tanto caudal de lodos como se produzca en la planta de tratamiento de aguas la solución pasa por manipular la salida y no la entrada.

Si el nivel en el tanque es demasiado alto se abrirá más la válvula de salida de modo que salga más caudal de la mezcla y, si la entrada se mantiene constante, bajará el nivel del tanque.

Si es demasiado bajo se cerrará la válvula de salida y, de nuevo suponiendo una entrada constante, subirá el nivel del tanque.

Es un lazo feedback simple ya que la perturbación afecta a la variable y después es corregida, no se anticipa la perturbación.

4. Lazo 201

- Variable controlada: Temperatura en la corriente de entrada al digestor.
- Variable manipulada: Porcentaje de apertura de la válvula de la corriente de alimentación de agua de calefacción del intercambiador E-202.

En este caso se pretende mantener la temperatura de operación del digestor. Para ello se controla la temperatura en la corriente de entrada al digestor. Se podría medir la temperatura dentro del digestor, pero en ese caso las oscilaciones serían mucho mayores. El gran volumen del reactor, más de 1000 metros cúbicos, provocaría un retraso en la respuesta muy a tener en cuenta.

Ya que el aporte de energía final se hace en el intercambiador E-202 y es en este intercambiador en el que se marca la temperatura de la corriente de alimentación al digestor se efectuarán ahí las manipulaciones para conseguir ajustar la temperatura. El medio calefactor es agua a 60 °C. Ya que la temperatura del medio calefactor no se puede elevar, para prevenir el caking del que se hablaba, la solución pasa por regular el caudal del medio calefactor.

Si la temperatura en el reactor es baja se necesita mayor aporte energético y eso se consigue aumentando el caudal del medio calefactor. En consecuencia, aumentará la temperatura de la corriente de alimentación al digestor y, al final, la temperatura en el interior del reactor.

Si, por el contrario, la temperatura del reactor es demasiado elevada se disminuirá el caudal del medio calefactor con lo que disminuirá la temperatura de la corriente de alimentación al reactor y, eventualmente, la temperatura dentro del reactor.

Se evita actuar sobre el caudal de recirculación que viene del interior del reactor ya que esta corriente se utiliza para la agitación del digestor. Un mal mezclado podría llevar, además de a una pérdida de calidad del producto final, a una mala medida de la temperatura, con lo que podría llegar a desestabilizarse el sistema. Actuando sobre el caudal de medio calefactor se evita ese problema y se consigue el mismo resultado.

De hecho, como el reactor es un tanque agitado la medida de la temperatura bien puede hacerse en la corriente de recirculación, que será totalmente representativa de la temperatura del reactor.

Este es un lazo de control feedback simple porque la actuación ocurre una vez que la perturbación ha afectado la variable controlada, y se corrige, pero no se anticipa.

5. Lazo 202

El control del nivel en el digestor es fundamental. El caudal de entrada de lodos desde la planta de tratamiento de aguas es variable. Debido al control de nivel del tanque de mezcla TM-101 esta variación se transmite aguas abajo hasta llegar al reactor, con lo que el nivel de líquido va a variar. Para evitar sobrellenos o incluso derrames, así como malos funcionamientos por un nivel demasiado bajo, es necesario controlar el nivel de líquido en el digestor.

- Variable controlada: Nivel de líquido en el digestor
- Variable manipulada: Porcentaje de apertura de la válvula de la corriente de lodos de salida del digestor

Si el nivel en el digestor sube es necesario desalojar líquido del digestor, así que se abre la válvula de la corriente de salida de forma que el caudal aumente y baje el nivel del tanque.

Si el nivel en el digestor es demasiado bajo es necesario contener el líquido, por lo que se cierra la válvula de la corriente de salida de forma que el caudal de salida de lodos sea menor y se acumule más líquido en el tanque.

El hecho de variar el caudal de salida afectará a la temperatura de precalentamiento de la corriente de alimentación fresca en el intercambiador E-201. Esto no supone un problema desde el punto de vista operacional porque la variación de temperaturas será vista como una perturbación para el lazo 201, y será corregida. Por otro lado el variar el caudal de salida no supone una perturbación para el postratamiento, más allá de la del intercambiador, porque la etapa de postratamiento funciona en discontinuo, por lo que el lodo se almacenará en un tanque entre los ciclos de operación del filtro de banda.

6. Lazo 203

La presión en el digestor es una variable que es necesario controlar. El hecho de trabajar con un gas no sólo inflamable, sino perjudicial para el medio ambiente supondría que una sobrepresión sea una situación indeseable desde todos los puntos de vista. Desde la perspectiva de la seguridad una sobrepresión puede desencadenar fugas o escapes que evolucionen en explosiones o incendios. Un escape de biogás provocaría una atmósfera explosiva en los alrededores de la planta. Además desde el punto de vista ambiental el metano que contiene el biogás es uno de los principales causantes del cambio climático. En cuanto a salud no es, en principio, un tóxico biológicamente activo. El problema que podría suponer, amén de accidentes industriales por explosiones o incendios, sería la asfixia por no permitir un correcto suministro de oxígeno a los pulmones de quien esté en una atmósfera rica en metano. Lo mismo ocurre con el CO₂.

- Variable controlada: Presión en el digestor
- Variable manipulada: Porcentaje de apertura de la válvula de la corriente de aire de salida de la membrana

La doble membrana sirve a la vez de cubierta del digestor y de elemento para controlar la presión en el mismo. Existe un sistema con una soplante que mantiene un flujo de aire continuo entre las dos membranas. La membrana externa se mantiene siempre en la misma posición pero la membrana interna puede variar su posición de modo que el volumen ocupado por aire entre las dos membranas pueda variar.

Si la presión en el digestor aumenta es necesario reducirla. Para reducirla se abre la válvula de la corriente de salida del aire que hay entre las membranas. Si sale más aire el volumen de aire acumulado entre las membranas disminuye, dejando que se expanda el biogás de dentro de la cubierta y disminuyendo la presión.

Si la presión en el digestor disminuye el objetivo es aumentarla. Cerrando la válvula de salida de la corriente de salida del aire que hay entre las membranas se consigue que el volumen que ocupa ese aire sea mayor, comprimiendo el biogás del interior del reactor.

7. Indicadores y alarmas

Además del funcionamiento básico de los lazos de control es necesario tener constancia de ciertas variables de proceso que se consideran de utilidad para la adecuada monitorización del proceso.

Todos los controladores de los lazos contemplados son además indicadores y están situados en el panel de control de la planta.

Pero además de esos indicadores existen otros elementos indicadores y alarmas en las distintas zonas del proceso:

7.1. Sección 100

En esta sección las variables principales de las que se quiere tener constancia son los niveles de los tanques de almacenamiento, el flujo de entrada de lodos y el nivel del tanque de mezcla.

7.1.1. Indicadores

- Nivel de residuos en el tanque TK-101
- Nivel de residuos pretratados en el tanque TK-102
- Nivel de líquido en el tanque de mezcla TM-101 (Controlador Indicador)
- Caudal de la corriente de entrada de lodos de depuradora (Controlador Indicador)

7.1.2. Alarmas

- Alarma de nivel alto en el tanque TK-101
- Alarma de nivel bajo en el tanque TK-101
- Alarma de nivel alto en el tanque TK-102
- Alarma de nivel bajo en el tanque TK-102
- Alarma de nivel alto en el tanque TM-101
- Alarma de nivel bajo en el tanque TM-101

7.2. Sección 200

En esta sección lo principal es tener constancia de las temperaturas de entrada y salida de las corrientes en los intercambiadores y de la presión en el digestor. También se requiere una monitorización del nivel del digestor.

7.2.1. Indicadores

- Indicador de temperatura de entrada de la alimentación fresca en el intercambiador E-201
- Indicador de temperatura de salida de la alimentación fresca en el intercambiador E-201
- Indicador de temperatura de entrada de la salida de lodos en el intercambiador E-201
- Indicador de temperatura de salida de la salida de lodos en el intercambiador E-201
- Indicador de temperatura de la corriente de entrada de la mezcla recirculación+alimentación en el intercambiador E-202
- Indicador de temperatura de la corriente de salida de la mezcla recirculación+alimentación en el intercambiador E-202
- Indicador de la temperatura de entrada del agua de calefacción en el intercambiador E-202
- Indicador de temperatura en el interior del digestor R-201
- Indicador de nivel en el digestor R-201 (Controlador Indicador)
- Indicador de presión en la cubierta del digestor R-201 (Controlador Indicador)
- Indicador de caudal en la entrada del digestor R-201
- Indicador de caudal en la salida del digestor R-201

7.2.2. Alarmas

- Alarma de temperatura alta en la entrada del agua de calefacción en el intercambiador E-202
- Alarma de nivel alto en el digestor R-201
- Alarma de nivel bajo en el digestor R-201
- Alarma de presión alta en el digestor R-201
- Alarma de presión baja en el digestor R-201

7.3. Sección 300

En esta sección los instrumentos y elementos de control se centran principalmente en la línea de tratamiento del biogás. Esto se debe a que el filtro seleccionado es un equipo compacto que incluye tanto los elementos mecánicos como bombas y compresores que son necesarios, como los elementos de instrumentación y control que se requieren.

7.3.1. Indicadores

- Indicador de caudal en la corriente de entrada al tanque TK-301
- Indicador de nivel en el tanque TK-301
- Indicador de caudal en la corriente de salida de biogás del digester R-201

7.3.2. Alarmas

- Alarma de nivel alto en el tanque TK-301

ANEXO V - Fichas de seguridad

Metano³⁶³⁷


9/7/2015 CDC - METHANE - International Chemical Safety Cards - NIOSH

CDC Centers for Disease Control and Prevention
 CDC 24/7: Saving Lives. Protecting People.™

NIOSH
 NIOSH Home International Chemical Safety Cards (ICSC)

ICSC: 0291

METHANE

Methyl hydride <chem>CH4</chem> Molecular mass: 16.0 (cylinder) ICSC # 0291		CAS # 74-82-8 RTECS # PA1490000 UN # 1971 EC # 601-001-00-4 February 10, 2000 Validated	
			
TYPES OF HAZARD/ EXPOSURE	ACUTE HAZARDS/ SYMPTOMS	PREVENTION	FIRST AID/ FIRE FIGHTING
FIRE	Extremely flammable.	NO open flames, NO sparks, and NO smoking.	Shut off supply; if not possible and no risk to surroundings, let the fire burn itself out; in other cases extinguish with water spray, powder, carbon dioxide.
EXPLOSION	Gas/air mixtures are explosive.	Closed system, ventilation, explosion-proof electrical equipment and lighting. Use non-sparking handtools.	In case of fire: keep cylinder cool by spraying with water. Combat fire from a sheltered position.
EXPOSURE			
•INHALATION	Suffocation. See Notes.	Ventilation. Breathing protection if high concentration.	Fresh air, rest. Artificial respiration if indicated. Refer for medical attention.
•SKIN	ON CONTACT WITH LIQUID: FROSTBITE.	Cold-insulating gloves.	ON FROSTBITE: rinse with plenty of water, do NOT remove clothes. Refer for medical attention.
	ON CONTACT WITH LIQUID: FROSTBITE.	Safety goggles.	First rinse with plenty of water for several

<http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0291.html> 1/4

³⁶<http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0291.html> (Consultado 09/07/2015)

³⁷http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Compressed%20Methane17_24362.pdf (Consultado 09/07/2015)

9/02/15

CDC - METHANE - International Chemical Safety Cards - NIOSH

•EYES		minutes (remove contact lenses if easily possible), then take to a doctor.
•INGESTION		
SPILLAGE DISPOSAL	STORAGE	PACKAGING & LABELLING
Personal protection: self-contained breathing apparatus. Evacuate danger area! Consult an expert! Ventilation. Remove all ignition sources. NEVER direct water jet on liquid.	Fireproof. Cool. Ventilation along the floor and ceiling.	F+ symbol R: 12 S: 2-9-16-33 UN Hazard Class: 2.1
ICSC: 0291	Prepared in the context of cooperation between the International Programme on Chemical Safety & the Commission of the European Communities (C) IPCS CEC 1994. No modifications to the International version have been made except to add the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.	

METHANE

ICSC: 0291

<p>I</p> <p>M</p> <p>P</p> <p>O</p> <p>R</p> <p>T</p> <p>A</p> <p>N</p> <p>T</p> <p>D</p> <p>A</p>	<p>PHYSICAL STATE; APPEARANCE: COLOURLESS, COMPRESSED OR LIQUEFIED GAS, WITH NO ODOUR.</p> <p>PHYSICAL DANGERS: The gas is lighter than air.</p> <p>CHEMICAL DANGERS:</p> <p>OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS: TLV: (aliphatic hydrocarbons gases, Alkane C1-C4) 1000 ppm (as TWA) (ACGIH 2005). MAK not established.</p>	<p>ROUTES OF EXPOSURE: The substance can be absorbed into the body by inhalation.</p> <p>INHALATION RISK: On loss of containment this gas can cause suffocation by lowering the oxygen content of the air in confined areas.</p> <p>EFFECTS OF SHORT-TERM EXPOSURE: Rapid evaporation of the liquid may cause frostbite.</p> <p>EFFECTS OF LONG-TERM OR REPEATED EXPOSURE:</p>
---	--	--

<http://www.cdc.gov/niosh/poiner/hazreg0291.html>

9702015

CDC - METHANE - International Chemical Safety Cards - NIOSH

T A	
PHYSICAL PROPERTIES	<p>Boiling point: -161°C Melting point: -183°C Solubility in water, ml/100 ml at 20°C: 3.3 Relative vapour density (air = 1): 0.6</p> <p>Flash point: Flammable Gas Auto-ignition temperature: 537°C Explosive limits, vol% in air: 5-15 Octanol/water partition coefficient as log Pow: 1.09</p>
ENVIRONMENTAL DATA	
NOTES	
<p>Density of the liquid at boiling point: 0.42 kg/l. High concentrations in the air cause a deficiency of oxygen with the risk of unconsciousness or death. Check oxygen content before entering area. Turn leaking cylinder with the leak up to prevent escape of gas in liquid state. After use for welding, turn valve off; regularly check tubing, etc., and test for leaks with soap and water. The measures mentioned in section PREVENTION are applicable to production, filling of cylinders, and storage of the gas. Other UN number: 1972 (refrigerated liquid), Hazard class: 2.1. Card has been partly updated in October 2005. See section Emergency Response.</p> <p style="text-align: right;">Transport Emergency Card: TEC (R)-20G1F</p> <p style="text-align: right;">NFPA Code: H 1; F 4; R 0;</p>	
ADDITIONAL INFORMATION	
ICSC: 0291	METHANE
(C) IPCS, CEC, 1994	
IMPORTANT LEGAL NOTICE:	<p>Neither NIOSH, the CEC or the IPCS nor any person acting on behalf of NIOSH, the CEC or the IPCS is responsible for the use which might be made of this information. This card contains the collective views of the IPCS Peer Review Committee and may not reflect in all cases all the detailed requirements included in national legislation on the subject. The user should verify compliance of the cards with the relevant legislation in the country of use. The only modifications made to produce the U.S. version is inclusion of the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.</p>

Error processing SSI file

Page last reviewed: July 1, 2014

Page last updated: July 1, 2014

Content source: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Education and Information Division

 Centers for Disease Control and Prevention 1600 Clifton Road Atlanta, GA 30329-4027, USA
 800-CDC-INFO (800-232-4636) TTY: (888) 232-6348 - [Contact CDC-INFO](mailto:ContactCDC@INFO)



Safety data sheet
Methane, compressed.

Creation date : 27.01.2005 Version : 2.0 DE / E SDS No. : 8321
Revision date : 04.01.2011 page 1 / 2

1 IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/PREPARATION AND OF THE COMPANY

Product name
Methane, compressed.
EC No (from EINECS): 200-812-7
CAS No: 74-82-8
Index-Nr: 601-001-00-4
Chemical formula CH₄
REACH Registration number:
Not available.
Known uses
Not known.
Company Identification
Linde AG, Linde Gas Division, Seibentraße 70, D-82049 Pullach
E-Mail Address info@de.linde-gas.com
Emergency phone numbers (24h): 089-7448-0

2 HAZARDS IDENTIFICATION

Classification of the substance or mixture

Classification acc. to Regulation (EC) No 1272/2008/EC (CLP/GHS)
Press. Gas (Compressed gas) - Combines gas under pressure; may explode if heated.
Flam. Gas 1 - Extremely flammable gas.

Classification acc. to Directive 67/548/EEC & 1993/45/EC
F+; R12
Extremely flammable.
Risk advice to man and the environment
In high concentrations may cause asphyxiation.
Compressed gas.
Label Elements

- Labelling Pictograms



- Signal word
Danger

- Hazard Statements

H280 Combines gas under pressure; may explode if heated.
H220 Extremely flammable gas.

- Precautionary Statements

Precautionary Statement Prevention
P210 Keep away from heat/open flames/hot surfaces. - No smoking.

Precautionary Statement Reaction

P377 Leaking gas fire: Do not extinguish, unless it can be stopped safely.
P381 Eliminate all ignition sources if safe to do so.

Precautionary Statement Storage

P403 Store in a well-ventilated place.

Precautionary Statement Disposal
None.

3 COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Substance/Preparation: Substance.
Component/Impurities
Methane, compressed.
CAS No: 74-82-8
Index-Nr: 601-001-00-4
EC No (from EINECS): 200-812-7
REACH Registration number:
Not available.
Contains no other components or impurities which will influence the classification of the product.

4 FIRST AID MEASURES

Inhalation
In high concentrations may cause asphyxiation. Symptoms may include loss of mobility/consciousness. Victim may not be aware of asphyxiation. Symptoms may include dizziness, headache, nausea and loss of co-ordination. Remove victim to uncontaminated area wearing self contained breathing apparatus. Keep victim warm and rested. Call a doctor. Apply artificial respiration if breathing stopped.
Ingestion
Ingestion is not considered a potential route of exposure.

5 FIRE FIGHTING MEASURES

Specific hazards
Exposure to fire may cause containers to rupture/explode.
Hazardous combustion products
Incomplete combustion may form carbon monoxide.
Suitable extinguishing media
All known extinguishants can be used.
Specific methods
If possible, stop flow of product. Move container away or cool with water from a protected position. Do not extinguish a leaking gas flame unless absolutely necessary. Spontaneous/explosive re-ignition may occur.
Special protective equipment for fire fighters
In confined space use self-contained breathing apparatus.

6 ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal precautions
Wear self-contained breathing apparatus when entering area unless atmosphere is proved to be safe. Ensure adequate air ventilation. Eliminate ignition sources.
Environmental precautions
Try to stop release.
Clean up methods
Ventilate area.

7 HANDLING AND STORAGE

Handling
Ensure equipment is adequately earthed. Suck back of water into the container must be prevented. Purge air from system before introducing gas. Use only properly specified equipment which is suitable for this product, its supply pressure and temperature. Contact your gas supplier if in doubt. Keep away from ignition sources (including static discharges). Segregate from oxidant gases and other oxidants in store. Refer to supplier's handling instructions.
Storage



Safety data sheet
Methane, compressed.

Creation date : 27.01.2005 Version : 2.0 DE / E SDS No. : 8321
Revision date : 04.01.2011 page 2 / 2

Observe Technische Regeln Druckgase (TRG) 280 Ziffer 5! Keep container below 50°C in a well ventilated place. Segregate from oxidant gases and other oxidants in store.

8 EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Personal protection
Ensure adequate ventilation. Do not smoke while handling product.

9 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

General information
Appearance/Colour: Colourless gas.
Odour: None.
Important information on environment, health and safety
Molecular weight: 16 g/mol
Melting point: -182 °C
Boiling point: -161 °C
Critical temperature: -82 °C
Autoignition temperature: 595 °C
Flammability range: 4,4 %(V) - 15 %(V)
Relative density, gas: 0,8
Solubility mg/l water: 26 mg/l
Maximum filling pressure (bar): 200 bar

10 STABILITY AND REACTIVITY

Stability and reactivity
Can form explosive mixture with air. May react violently with oxidants.

11 TOXICOLOGICAL INFORMATION

General
No known toxicological effects from this product.

12 ECOLOGICAL INFORMATION

General
No known ecological damage caused by this product.

13 DISPOSAL CONSIDERATIONS

General
Do not discharge into areas where there is a risk of forming an explosive mixture with air. Waste gas should be flared through a suitable burner with flash back arrester. Do not discharge into any place where its accumulation could be dangerous. Contact supplier if guidance is required.
EWC Nr. 16 05 04*

14 TRANSPORT INFORMATION

ADR/RID			
Class	2	Classification Code	1F
UN number and proper shipping name			
UN 1971 Methane, compressed			
UN 1971 Methane, compressed			
Labels	2.1	Hazard number	23
Packing instruction	P200		

IMDG
Class 2.1
UN number and proper shipping name
UN 1971 Methane, compressed
Labels 2.1
Packing instruction P200
EmS FD, SU

IATA
Class 2.1
UN number and proper shipping name
UN 1971 Methane, compressed
Labels 2.1
Packing instruction P200

Other transport information
Avoid transport on vehicles where the load space is not separated from the driver's compartment. Ensure vehicle driver is aware of the potential hazards of the load and knows what to do in the event of an accident or an emergency. Before transporting product containers ensure that they are firmly secured. Ensure that the cylinder valve is closed and not leaking. Ensure that the valve outlet cap nut or plug (where provided) is correctly fitted. Ensure that the valve protection device (where provided) is correctly fitted. Ensure adequate ventilation. Ensure compliance with applicable regulations.

15 REGULATORY INFORMATION

Further national regulations
Pressure Vessel Regulation
Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)
Regulations for the prevention of industrial accidents
Water pollution class
Not polluting to waters according to VwVwS from 17.05.00.
TA-Luft
Not classified according to TA-Luft.

16 OTHER INFORMATION

Ensure all national/local regulations are observed. Ensure operators understand the flammability hazard. The hazard of asphyxiation is often overlooked and must be stressed during operator training. Before using this product in any new process or experiment, a thorough material compatibility and safety study should be carried out.

Advice
Whilst proper care has been taken in the preparation of this document, no liability for injury or damage resulting from its use can be accepted. Details given in this document are believed to be correct at the time of going to press.

Further information
Linde safety advice
No. 3 Oxygen deficiency
No. 7 Safe handling of gas cylinders and cylinder bundles
No. 11 Transport of gas receptacles in vehicles

End of document

ANEXO VI - Evaluación de la viabilidad económica

ÍNDICE

1. Introducción	134
2. Capital inmovilizado	134
3. Capital circulante.....	134
4. Costes de explotación	135
4.1. Gastos de personal.....	135
4.2. Costes de mantenimiento	135
4.3. Materias primas	135
4.4. Coste eléctrico.....	135
5. Amortización	138
6. Ingresos	136
6.1. Reciclaje de metales ferrosos.....	136
6.2 Venta de energía eléctrica	137
7. Beneficios antes de impuestos (BAT)	139
8. Impuesto de sociedades.....	140
9. Flujos de caja	140
10. Valor Actual Neto (VAN).....	140
11. Tasa Interna de Retorno (TIR)	141
12. Tiempo de retorno	141

1. Introducción

En este documento se analiza la viabilidad económica del proyecto. La decisión se basará en la aceptabilidad de la inversión necesaria.

La viabilidad o inviabilidad económica del proyecto se basa en tres factores:

- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Valor Actual Neto (VAN)
- Tiempo de retorno de la inversión

2. Capital inmovilizado

El capital fijo, o capital inmovilizado, I_F , abarca toda el capital recogido dentro del área de proceso. Es el coste total de la planta lista para la arrancada. Por lo tanto se tiene en cuenta la partida presupuestaria total, recogida en el documento de Presupuesto del presente proyecto.

El total del capital inmovilizado asciende a 3001096 euros.

3. Capital circulante

El capital circulante, I_W , abarca los costes que suponen las tareas iniciales de la planta, tales como los costes de la arrancada, la primera carga de catalizadores, si los hubiese, que no es el caso, etc. En definitiva, comprende los costes de operación de la planta hasta el funcionamiento normal en el que se producen beneficios.

El capital circulante es una inversión que se recupera mayoritariamente durante la vida útil de la planta, a diferencia del capital inmovilizado, que no tiene previsión de recuperarse más allá de los pobres ingresos que pueda suponer el desmantelamiento de los equipos.

Generalmente se asume que el capital circulante supone un 10% del capital fijo, con lo que el cálculo del capital circulante y, por arrastre, de la inversión total (I) es:

$$I_W = 0.1 \cdot I_F \quad \text{Ec. 1}$$

$$I_W = 300110 \text{ euros}$$

$$I = I_F + I_W \quad \text{Ec. 2}$$

$$I = 3301206 \text{ euros}$$

4. Costes de explotación

4.1. Gastos de personal

Teniendo en cuenta que este proyecto supone una ampliación de una planta ya existente se considera que para las tareas de operación y mantenimiento serán necesarios tres operarios más que los que ya trabajan en la planta.

Se establece un salario de 15000 euros para cada trabajador, contemplándose subidas de salario equivalentes al IPC. Esto asciende a un total de 45000 euros el primer año.

4.2. Costes de mantenimiento

Este apartado comprende los costes que suponen las reparaciones y tareas de mantenimiento que requieren los equipos de proceso de la planta. Se estima que estas tareas suponen un 5% del coste total de los equipos cada año.

Por lo tanto asciende a 33872 euros.

4.3. Materias primas

Las materias primas de este proceso son los lodos de la propia depuradora y los RSU municipales. Ninguna de las dos materias primas supone un coste adicional para la planta, pues el proceso supone una alternativa de tratamiento de los residuos que de otro modo habría que procesar mediante alguna de las alternativas mencionadas en la memoria, probablemente de manera menos rentable.

4.4. Costes del seguro

Se asume que la planta está asegurada y que la cuota corresponde a un 1% del capital fijo o inmovilizado. La cuota anual asciende a 30011 euros

4.5. Coste eléctrico

En la planta hay varios equipos eléctricos que consumen electricidad. No todos ellos operan continuamente. En la tabla se muestran los equipos que consumen electricidad y la potencia que consumen. Además con el número de horas que operan al día se calcula el total de energía consumida cada día (kWh/d):

Tabla 27 - Consumo eléctrico de los equipos

Equipo	Potencia (kW)	Ciclo (h/día)	Consumo (kWh/d)
CR-101	37	4	148
TR-101	8,8	4	35,2
M-101	1,8	4	7,2
P-201	0,6	24	14,4
P-202	1,25	24	30
P-301	0,6	24	14,4
F-301	28,8	8	230,4
TOTAL			479,6 kWh/d

Lo cual, teniendo en cuenta que la planta opera 24 h/día y 365 días/año supone un consumo anual de 175054 kWh.

Además se contabiliza un consumo para iluminación, instrumentación y monitorización de la planta equivalente al 30% de ese consumo. Por lo tanto el consumo total son:

- Consumo total: 227570 kWh/año.

Se asume un coste de la energía eléctrica como consumidor industrial en Italia de 0.13 euros/kWh.

Con lo que el coste total de la energía eléctrica consumida en la planta es de 29584 euros/año

Se considera que la energía eléctrica se consume de la red eléctrica y no de la producida por cogeneración por motivos económicos. En Italia la producción de energía por cogeneración a partir de biogás está subvencionada, por lo tanto resulta más rentable consumir energía eléctrica de la red y verter a la misma red la energía generada, en lugar de autoabastecerse. Este asunto se trata con mayor profundidad en el apartado 7 de Ingresos.

5. Ingresos

5.1. Reciclaje de metales ferrosos

En la planta, como consecuencia del pretratamiento de los RSU se separan cada día 340.76 kg de metales ferrosos. Estos metales pueden enviarse a reciclaje obteniendo un pequeño beneficio. Se estima un precio de 250 euros/tonelada y se obtiene un total de 31094 euros/año.

5.2 Venta de energía eléctrica

La venta de energía eléctrica supone una fuente de ingresos importante para la planta. El hecho de producir energía utilizando biogás como combustible en un equipo de cogeneración es una actividad subvencionada por el gobierno italiano. Por ese motivo resulta más económicamente rentable vender la energía eléctrica y consumir la que necesite la planta de la red eléctrica en lugar de autoabastecerse.

Las ayudas gubernamentales del gobierno a esta actividad están amparadas por el Decreto Ministeriale del 6 de julio de 2012 sobre los incentivos a la producción de energía eléctrica en plantas basadas en fuentes renovables distintas de la fotovoltaica.

En el *Allegato I* se establece la tarifa incentivada para cada tipo de planta. Esta planta entraría en la categoría de *Biogas*, subcategoría a) *Prodotti di origine biologica*, con una potencia inferior a 1000 kW, por lo que la tarifa incentivada asciende a 180 euros/MWh.

Además, en el artículo 8, específico para el caso del biogás, se especifica una prima sobre esa tarifa dependiendo del tipo de planta que se evalúe. Esta planta entra en la categoría enunciada en el artículo 8, punto 8, letra c, correspondiéndole una prima de 10 euros/MWh.

En total la producción eléctrica será vertida a la red eléctrica con un precio de 190 euros/MWh.

En el apartado dedicado a la selección del equipo de cogeneración, en la Memoria de este proyecto, se calcula una producción eléctrica para la planta de 121.45 kW. Esta potencia mantenida 24 horas al día y 365 días al año hacen un total de 1063.90 MWh/año de energía.

Por lo tanto los ingresos resultantes de la venta de la energía eléctrica producida son:

$$Ingresos_{e.eléctrica} = 190 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 1063.90 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} = 202141 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

5.3. Ahorro económico

Antes de la ejecución del proyecto tanto los lodos de depuradora como los RSU debían ser gestionados de alguna otra forma, lo cual supone un coste extra. La planta de codigestión anaerobia supone una alternativa propia de tratamiento de residuos con lo que se ahorran los costes de gestión de ambos residuos.

5.3.1. Lodos de depuradora

Se estima que la gestión de los lodos de depuradora estaba suponiendo un coste de 20 €/tonelada. Cada día se producen en la planta 85 toneladas de lodos, que suponen una materia prima para la planta de codigestión. Tratándolos en ella se ahorran en total:

$$85 \frac{T}{día} \cdot 20 \frac{€}{T} \cdot 365 \frac{días}{año} = 620500 \frac{€}{año}$$

5.3.2. Residuos Sólidos Urbanos

Se considera que la gestión de los RSU suponía un coste aproximado de 50 €/tonelada húmeda.. Según este coste de gestión y sabiendo que en la planta de codigestión se tratan cada día 23.32 toneladas el proceso supone un ahorro de:

$$23.32 \frac{T}{día} \cdot 50 \frac{€}{T} \cdot 365 \frac{días}{año} = 425590 \frac{€}{año}$$

6. Amortización

Se considera que la vida útil de la planta son 20 años y que el préstamo tiene la misma vigencia. Se asume que se solicita un préstamo, P, con un tipo de interés de cuotas constantes, o tipo francés. Se considera la amortización según lo indicado en la ecuación 3:

$$A = \frac{P}{20} \quad \text{Ec. 3}$$

Además se calcula la cuota anual constante, R, aplicando la ecuación 4:

$$R = P \cdot \left[\frac{i \cdot (i + 1)^n}{(i + 1)^n - 1} \right] \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

R es la cuota anual constante

P es la cuantía del préstamo solicitado

i es la Tasa de interés Anual Equivalente (TAE)

n es el número de años de vigencia del préstamo

En este préstamo se asume una TAE del 7%.

El pago de intereses de la deuda con el método francés depende de la cantidad de deuda que quede por pagar y se calcula con la ecuación 5:

$$I_j = i \cdot D.pendiente_{j-1} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde

I_j es la cantidad de intereses que se pagan en el año j

i es la Tasa Anual Equivalente

$D.pendiente_{j-1}$ es la cuantía de la deuda que queda por pagar en el año $j-1$

El pago de deuda y el pago de intereses suman la cuota anual constante R . Por lo tanto el dinero que se dedica a pagar la deuda en el año j es:

$$Pago\ de\ deuda_j = R - I_j \quad Ec. 6$$

Y de este modo la deuda pendiente en el año j será igual a la deuda pendiente en el año $j-1$ menos la cantidad que se pagó en ese mismo año j :

$$D.pendiente_j = D.pendiente_{j-1} - Pago\ de\ deuda_j \quad Ec. 7$$

7. Beneficios antes de impuestos (BAT)

Los beneficios antes de impuestos se calculan teniendo en cuenta los ingresos totales y los costes totales de la planta.

Tanto los ingresos como los costes totales se actualizan año a año teniendo en cuenta la inflación, que se considera un 3%:

$$IT_j = IT_{j-1} \cdot 1.03 \quad Ec. 8$$

$$CT_j = CT_{j-1} \cdot 1.03 \quad Ec. 9$$

Los BAT se calculan según la ecuación 10:

$$BAT_j = IT_j - CT_j - I_j - A \quad Ec. 10$$

Donde

BAT_j son los beneficios antes de impuestos

IT_j son los ingresos totales en el año j

CT_j son los costes totales en el año j

I_j es el pago de intereses del préstamo en el año j

A es la cantidad proporcional de la amortización, constante en el tiempo

8. Impuesto de sociedades

En Italia, el país en el que se sitúa la planta, se contempla un impuesto sobre las sociedades (Imposta sul reddito delle società, IRES) del 27.5%. Se calcula sobre el beneficio antes de impuestos:

$$Impuestos_j = BAT_j \cdot 0.275 \quad \text{Ec. 11}$$

9. Flujos de caja

Se entiende por flujos de caja la diferencia entre los ingresos y los gastos ocurridos en un período determinado. Se calcula utilizando la ecuación 12:

$$R_j = BAT_j - Impuestos_j + A \quad \text{Ec. 12}$$

Donde

R_j es el flujo de caja del año j

BAT_j es el beneficio antes de impuestos del año j

$Impuestos_j$ es el impuesto de sociedades calculado sobre el BAT del año j

A es la cantidad lineal de amortización

Para el año 0 el flujo de caja se considera $R_0 = -P$

10. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es un factor que evalúa los flujos de caja futuros que genera una inversión en el momento presente. Se rige por la ecuación 13:

$$VAN = -P + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i')^j} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde

VAN es el Valor Actual Neto

P es la cantidad total del préstamo solicitado

n es la vida útil de la planta

F_j es el flujo de caja del año j

i' es el interés requerido a la inversión

j es el año correspondiente a cada iteración

En este caso la planta se considera como un tratamiento de residuos por lo que no tiene que ser necesariamente rentable. Es un proceso industrial necesario y no tiene por qué dar beneficios. Sin embargo se va a asumir que la inversión es rentable en tanto en cuanto no se pierda dinero. Por ese motivo se considera $i'=0\%$.

Si el VAN toma valores positivos significará que se ha superado la exigencia de rentabilidad, que en este caso es del 0%, es decir, que no se pierde dinero.

11. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es un factor típico para evaluar la viabilidad económica de proyectos de este tipo. El valor del TIR expresa la tasa de rentabilidad máxima que se puede exigir para que el proyecto siga siendo económicamente rentable. Es decir, si se iguala el VAN a 0 y se calcula el i' correspondiente, ese i' será el TIR. Si se exige una rentabilidad superior al TIR el VAN tomará siempre valores negativos, con lo que el proyecto dejaría de ser económicamente rentable.

Si la i' exigida es inferior al TIR el proyecto es económicamente viable.

12. Tiempo de retorno

También llamado Pay-Back. Es el tiempo que debe pasar para que los flujos de caja positivos consigan contrarrestar la cuantía de la inversión inicial. Sirve para tener una estimación de la velocidad a la que el proyecto hará recuperar la liquidez. Para calcularla es necesario hacer un ajuste de la caja acumulada para calcular analíticamente en qué momento temporal se salda la deuda y se consigue una caja acumulada igual a 0.

13. Resultados de la valoración

Para hacer una valoración económica de la viabilidad o no viabilidad del proyecto se utiliza el VAN y el TIR. Para ello hay que calcular y contabilizar los parámetros descritos en este

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

documento, además de desarrollar los cálculos que permiten conocer el comportamiento económico a lo largo de la vida útil de la planta.

Tabla 28 - Resultados anuales de la evaluación económica

Año	Ingresos (€)	Costes totales (€)	Amortizacion (€)	R (€)	D pendiente (€)	Pago de deuda (€)
0					3,30E+06	
1	1,28E+06	1,38E+05	1,65E+05	3,12E+05	3,22E+06	8,05E+04
2	1,32E+06	1,43E+05	1,65E+05	3,12E+05	3,13E+06	8,62E+04
3	1,36E+06	1,47E+05	1,65E+05	3,12E+05	3,04E+06	9,22E+04
4	1,40E+06	1,51E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,94E+06	9,86E+04
5	1,44E+06	1,56E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,84E+06	1,06E+05
6	1,48E+06	1,61E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,73E+06	1,13E+05
7	1,53E+06	1,65E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,60E+06	1,21E+05
8	1,57E+06	1,70E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,48E+06	1,29E+05
9	1,62E+06	1,75E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,34E+06	1,38E+05
10	1,67E+06	1,81E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,19E+06	1,48E+05
11	1,72E+06	1,86E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,03E+06	1,58E+05
12	1,77E+06	1,92E+05	1,65E+05	3,12E+05	1,86E+06	1,69E+05
13	1,82E+06	1,97E+05	1,65E+05	3,12E+05	1,68E+06	1,81E+05
14	1,88E+06	2,03E+05	1,65E+05	3,12E+05	1,49E+06	1,94E+05
15	1,94E+06	2,09E+05	1,65E+05	3,12E+05	1,28E+06	2,08E+05
16	1,99E+06	2,16E+05	1,65E+05	3,12E+05	1,06E+06	2,22E+05
17	2,05E+06	2,22E+05	1,65E+05	3,12E+05	8,18E+05	2,38E+05
18	2,11E+06	2,29E+05	1,65E+05	3,12E+05	5,63E+05	2,54E+05
19	2,18E+06	2,36E+05	1,65E+05	3,12E+05	2,91E+05	2,72E+05
20	2,24E+06	2,43E+05	1,65E+05	3,12E+05	-1,05E-09	2,91E+05

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

Tabla 2 (continuación) - Resultados anuales de la evaluación económica

Año	Pago de intereses anual (I_j) (€)	BAT (€)	Impuestos (€)	Flujo caja (€)	Caja acumulada (€)	VAN (€)
0				-3,30E+06	-3,30E+06	
1	2,31E+05	7,45E+05	2,05E+05	7,05E+05	-2,60E+06	7,05E+05
2	2,25E+05	7,85E+05	2,16E+05	7,34E+05	-1,86E+06	7,34E+05
3	2,19E+05	8,26E+05	2,27E+05	7,64E+05	-1,10E+06	7,64E+05
4	2,13E+05	8,69E+05	2,39E+05	7,95E+05	-3,04E+05	7,95E+05
5	2,06E+05	9,13E+05	2,51E+05	8,27E+05	5,23E+05	8,27E+05
6	1,99E+05	9,59E+05	2,64E+05	8,60E+05	1,38E+06	8,60E+05
7	1,91E+05	1,01E+06	2,77E+05	8,95E+05	2,28E+06	8,95E+05
8	1,82E+05	1,06E+06	2,90E+05	9,30E+05	3,21E+06	9,30E+05
9	1,73E+05	1,11E+06	3,04E+05	9,68E+05	4,18E+06	9,68E+05
10	1,64E+05	1,16E+06	3,19E+05	1,01E+06	5,18E+06	1,01E+06
11	1,53E+05	1,21E+06	3,34E+05	1,05E+06	6,23E+06	1,05E+06
12	1,42E+05	1,27E+06	3,50E+05	1,09E+06	7,32E+06	1,09E+06
13	1,30E+05	1,33E+06	3,66E+05	1,13E+06	8,45E+06	1,13E+06
14	1,18E+05	1,39E+06	3,83E+05	1,17E+06	9,62E+06	1,17E+06
15	1,04E+05	1,46E+06	4,01E+05	1,22E+06	1,08E+07	1,22E+06
16	8,94E+04	1,52E+06	4,19E+05	1,27E+06	1,21E+07	1,27E+06
17	7,39E+04	1,59E+06	4,38E+05	1,32E+06	1,34E+07	1,32E+06
18	5,72E+04	1,66E+06	4,57E+05	1,37E+06	1,48E+07	1,37E+06
19	3,94E+04	1,74E+06	4,78E+05	1,42E+06	1,62E+07	1,42E+06
20	2,04E+04	1,82E+06	4,99E+05	1,48E+06	1,77E+07	1,48E+06

13.1. VAN

Se calcula el VAN a partir de los resultados mostrados en la Tabla 2. En la columna VAN se han calculado los términos correspondientes al sumatorio. De ese modo, aplicando la ecuación 13:

$$VAN = 17706731 \text{ €}$$

El VAN toma un valor positivo, por lo tanto se considera que el proyecto es rentable.

13.2. TIR

El TIR se calcula igualando el VAN a 0 y despejando la rentabilidad exigida.

- **TIR=25%**

Esto significa que no sólo el proyecto no da pérdidas sino que se le podría exigir una rentabilidad de hasta el 25% y seguiría dando valores de VAN positivos, con lo que se consideraría un proyecto rentable.

13.3. Tiempo de retorno

El tiempo de retorno o Pay-Back se determina encontrando el momento temporal en el que se alcanza una caja acumulada de 0, quedando resuelta la deuda en términos de flujo, aunque no en términos reales.

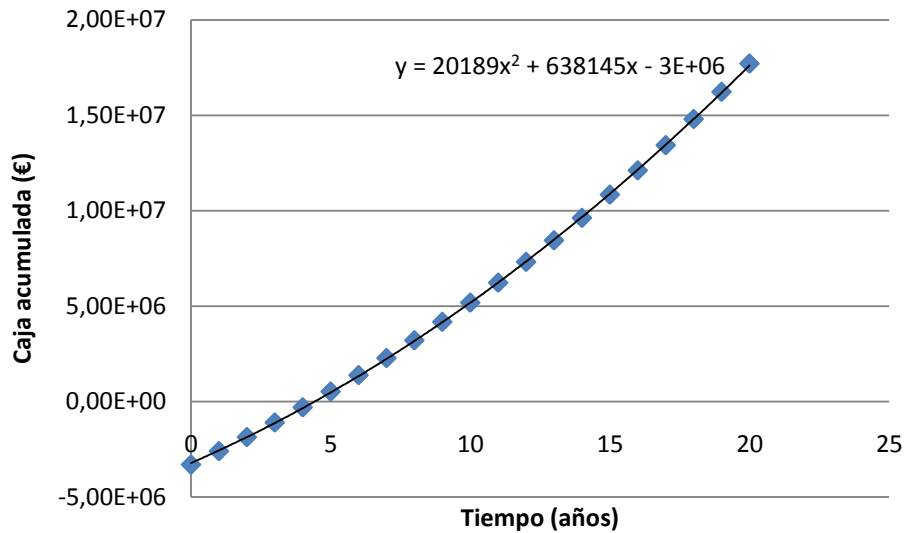


Figura 9 - Evolución de la caja acumulada con el tiempo

Utilizando la ecuación de la Figura 1 , igualando la caja acumulada (y) a 0 se obtiene:

- **Pay-Back: 4.16 años**

Sólo 4.16 años tras la inversión inicial se habrá conseguido una caja acumulada no negativa.

**PLANTA DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE
LODOS DE DEPURADORA Y RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

**DOCUMENTO II:
PLANOS**

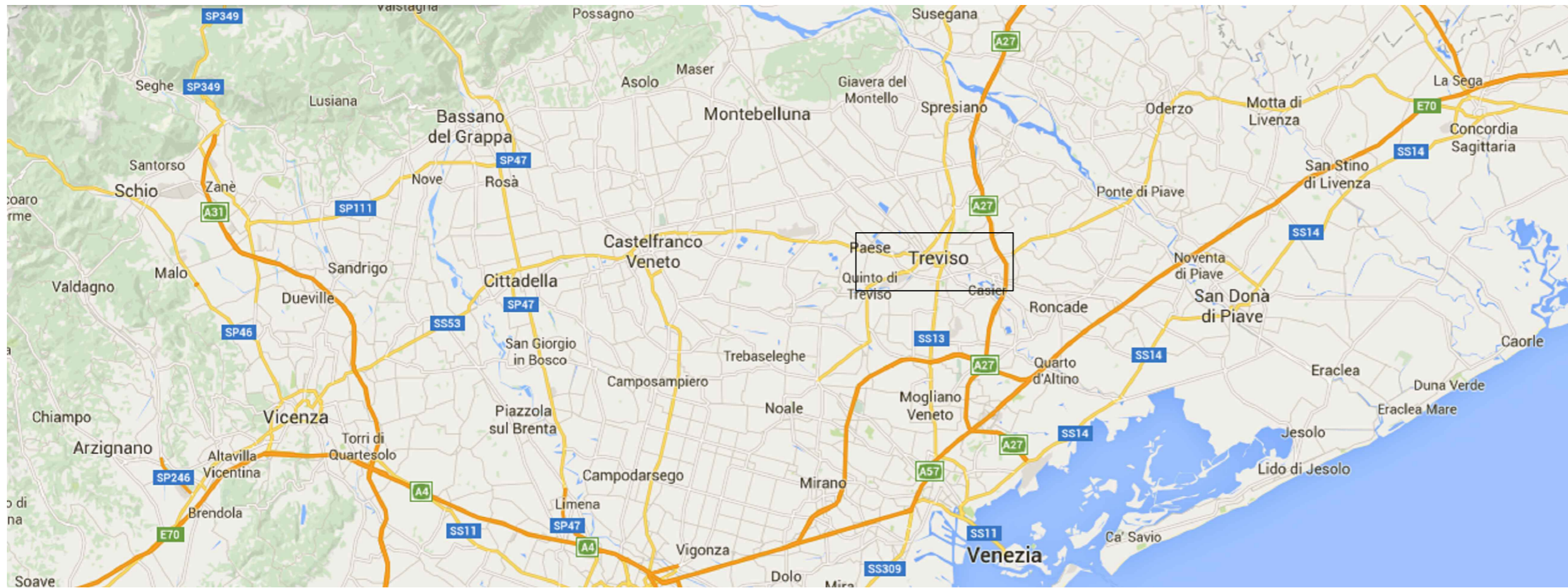
Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidade de Santiago de Compostela

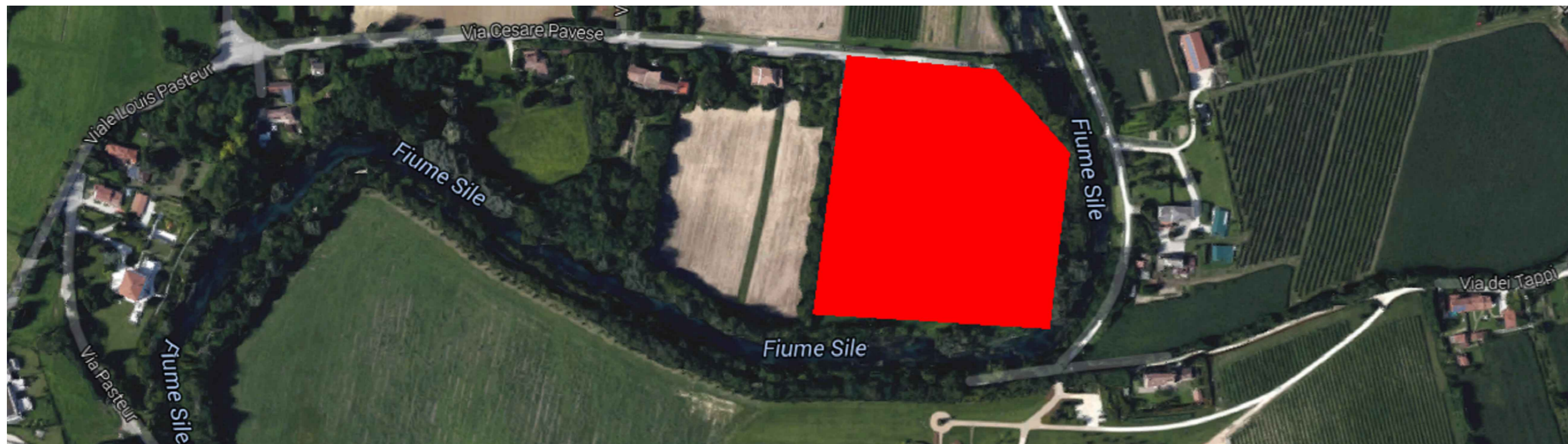
Escola Técnica Superior de Enxeñería

Julio, 2015

Francisco Manteiga Vázquez



Ciudad de Treviso



Parcela de la Planta de Tratamiento de Aguas de Treviso



Situación de la provincia de Treviso en Italia

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y RSU

Emplazamiento

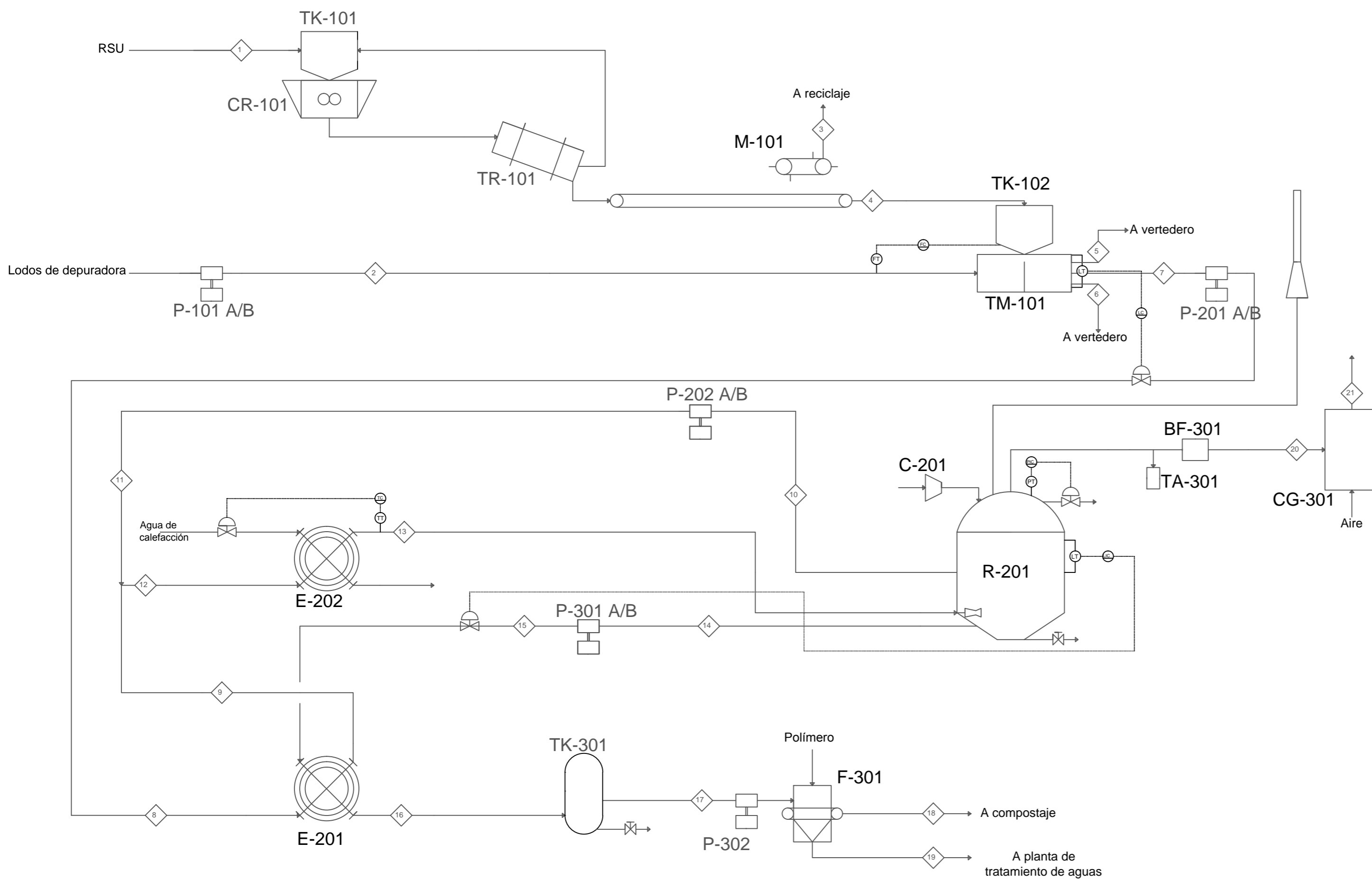
Escola Técnica Superior de Enxeñaría
Universidade de Santiago de Compostela

Autor: Francisco Manteiga Vázquez

Fecha: Julio 2015

Escala: S/E

Plano nº: 1



EQUIPO	DESCRIPCIÓN
TK-101	Tanque de almacenamiento
CR-101	Trituradora
TR-101	Trommel
M-101	Separador magnético
P-101	Bomba de lóbulos
TK-102	Tanque de almacenamiento
TM-101	Tanque de mezcla
P-201	Bomba de lóbulos
E-201	Intercambiador de espiral
E-202	Intercambiador de espiral
P-202	Bomba de lóbulos
R-201	Digestor anaerobio
C-201	Soplante
F-301	Filtro de banda
CG-301	Cogeneración

Nº de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Descripción	RSU	Lodos	Metales	RSU	Flotantes	Inertes pesados	Lodo+RSU	Lodo+RSU	Lodo+RSU	Recirculación	Recirculación	Alim.+Recirc.	Alim.+Recirc.	Digerido	Digerido	Digerido	Digerido	Dig. deshidratado	Filtrado	Biogás	Gases de combustión	
Estado	S	L	S	S	S	S	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	G	G	
Temperatura(°C)	13.04	10	13.04	13.04	10	10	10	10	23.77	36	36	31.65	37.5	36	36	22	22	22	22	36	556	
Presión (kPa)	101.33	101.33	101.33	101.33	101.33	101.33	101.33	250.00	248.58	120	250.00	249.46	243.44	120	250.00	101.33	101.33	101.33	101.33	120	101.33	
Caudal másico (kg/d)	23663.70	85000.00	340.76	23322.94	10832.29	10832.29	86930.96	86930.96	86930.96	142016.81	142016.81	228947.76	228947.76	85481.52	85481.52	85481.52	85481.52	19390.62	66090.74	1449.60	13872.29	
Sólidos Totales (kg/d)	5303.03	3187.50	340.76	4962.28	814.98	814.98	6519.82	6519.82	6519.82	6443.03	6443.03	12962.85	12962.85	3878.30	3878.30	3878.30	3878.30	3878.30	0	-	-	
Sólidos Volátiles (kg/d)	4479.54	1972.00	0	4479.54	654.15	654.15	5161.23	5161.23	5161.23	4185.90	4185.90	9347.13	9347.13	2519.71	2519.71	2519.71	2519.71	2519.71	0	-	-	
Composición (kg/d)																						
CH ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	584.34	-
CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	865.27	2472.02
H ₂ O(v)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1314.61

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y RSU

PFD

Autor: Francisco Manteiga Vázquez

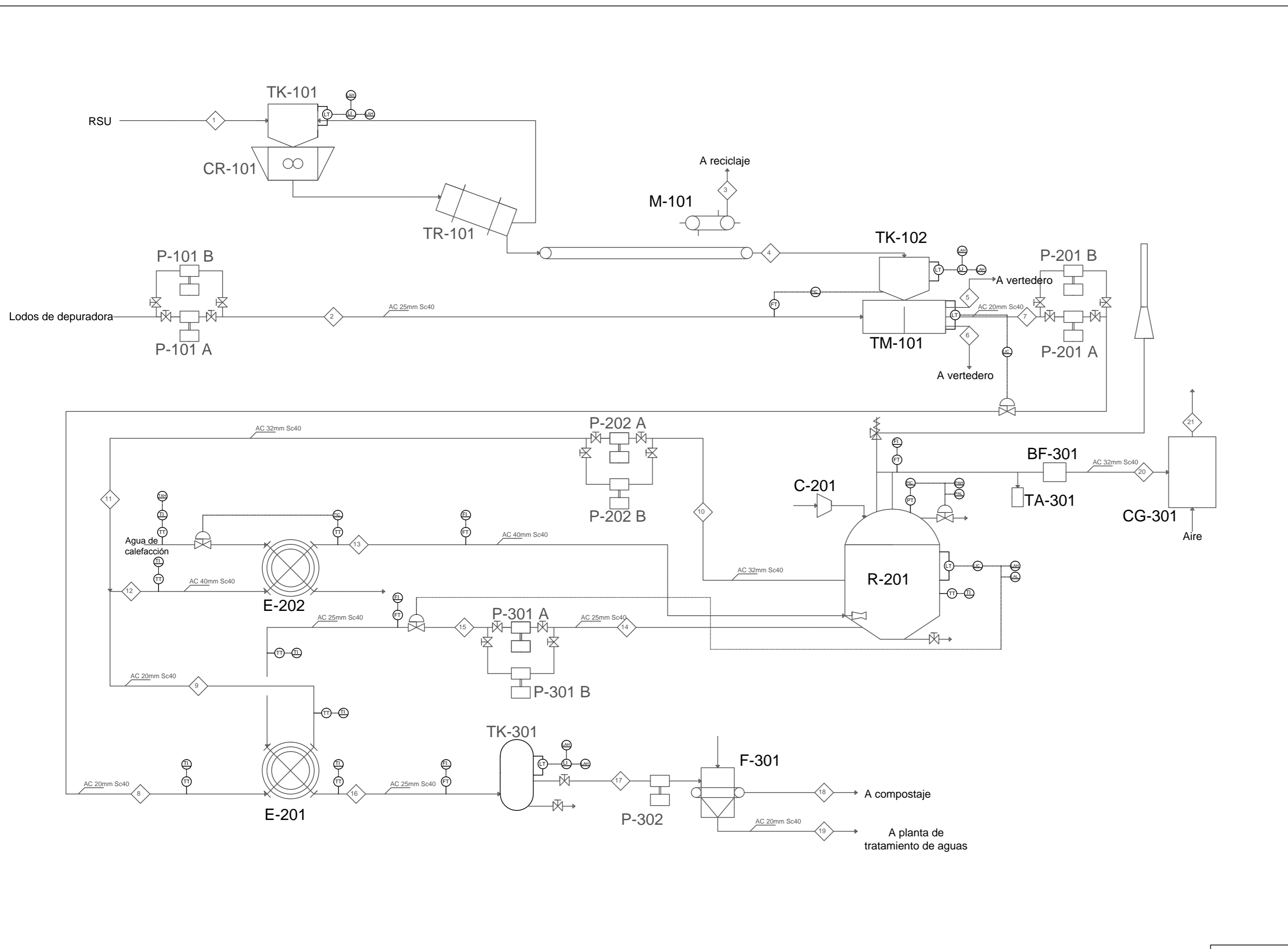
Fecha: Julio 2015

Escala: S/E

Plano nº: 2

Escola Técnica Superior de Enxeñaría

Universidade de Santiago de Compostela



EQUIPO	DESCRIPCIÓN
TK-101	Tanque de almacenamiento
CR-101	Trituradora
TR-101	Trommel
M-101	Separador magnético
P-101	Bomba de lóbulos
TK-102	Tanque de almacenamiento
TM-101	Tanque de mezcla
P-201	Bomba de lóbulos
E-201	Intercambiador de espiral
E-202	Intercambiador de espiral
P-202	Bomba de lóbulos
R-201	Digestor anaerobio
C-201	Soplante
F-301	Filtro de banda
CG-301	Cogeneración

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

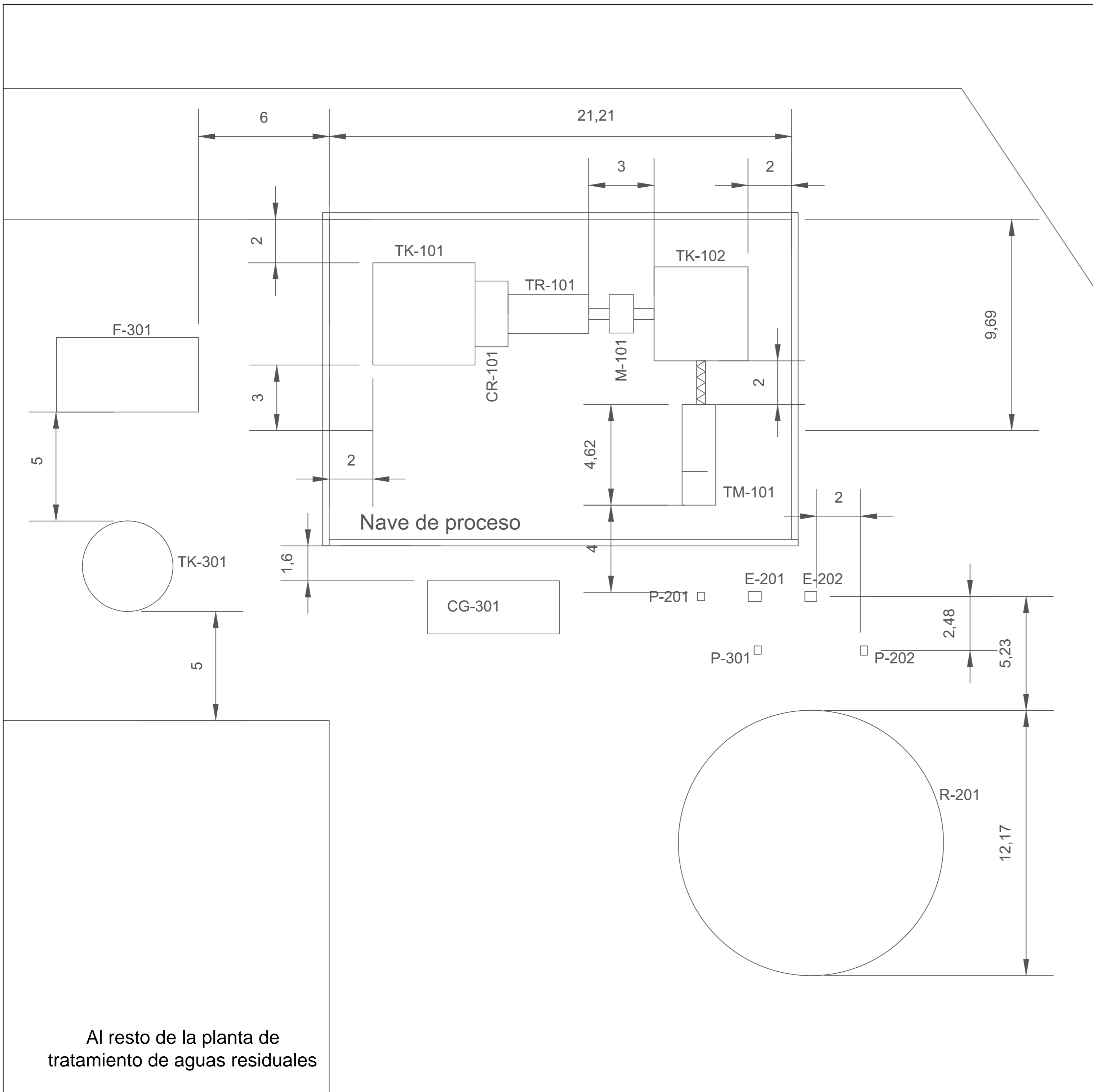


1ª letra	
F	Caudal
T	Temperatura
L	Nivel
P	Presión
2ª letra	
T	Sensor-Transmisor
I	Indicador
A	Alarma
3ª letra	
C	Controlador
H	Alto
L	Bajo

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y RSU

P&ID

Autor: Francisco Manteiga Vázquez	Escola Técnica Superior de Enxeñería
	Universidade de Santiago de Compostela
	Fecha: Julio 2015
	Escala: S/E
	Plano nº: 3



EQUIPO	DESCRIPCIÓN
TK-101	Tanque de almacenamiento
CR-101	Trituradora
TR-101	Trommel
M-101	Separador magnético
P-101	Bomba de lóbulos
TK-102	Tanque de almacenamiento
TM-101	Tanque de mezcla
P-201	Bomba de lóbulos
E-201	Intercambiador de espiral
E-202	Intercambiador de espiral
P-202	Bomba de lóbulos
R-201	Digestor anaerobio
F-301	Filtro de banda
CG-301	Cogeneración
El filtro es un equipo compacto que incluye bombas de impulsión y sistema de dosificación de polímero	
La soplante C-201 se considera parte solidaria del digestor R-201	
<h2>Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y RSU</h2>	
<h3>Implantación</h3>	Escola Técnica Superior de Enxeñaría
	Universidade de Santiago de Compostela
Autor: Francisco Manteiga Vázquez	Fecha: Julio 2015
	Escala: 1:125
	Plano nº: 4

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

**PLANTA DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE
LODOS DE DEPURADORA Y RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

**DOCUMENTO III:
ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA**

Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidade de Santiago de Compostela

Escola Técnica Superior de Enxeñería

Julio, 2015

Francisco Manteiga Vázquez

**PLANTA DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE
Lodos DE DEPURADORA Y RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD

Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidade de Santiago de Compostela

Escola Técnica Superior de Enxeñería

Julio, 2015

Francisco Manteiga Vázquez

ÍNDICE

1. Introducción	2
2. Consideraciones de la obra	4
3. Análisis de riesgos	5
3.1. Movimientos de tierras	5
3.2. Cimentación y estructuras	6
3.3. Cubiertas y materiales ligeros	6
3.4. Albañilería y cerramientos	6
3.5. Terminaciones	7
3.6. Instalaciones auxiliares.....	7
4. Medidas de protección y prevención colectivas	8
4.1. Movimientos de tierras	8
4.2. Cimentación y estructuras	9
4.3. Cubiertas y materiales ligeros	9
4.4. Albañilería y cerramientos	9
4.5. Terminaciones	10
4.6. Instalaciones auxiliares.....	10
5. Equipos de protección individual (EPI's)	10
5.1. Casco de seguridad.....	13
5.2. Calzado de seguridad	13
5.3. Guantes	14
5.4. Gafas de seguridad y pantallas de soldador.....	14
5.5. Protección auditiva.....	14
5.6. Cinturón de seguridad	15
5.7. Ropa de seguridad.....	15
6. Obligaciones de los distintos agentes que actúan en la obra	15
7. Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo	18

1. Introducción

Este estudio básico de seguridad y salud supone un documento únicamente descriptivo que debe servir de base para una posterior redacción del Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo. Aquí se establecen las condiciones y consideraciones mínimas de seguridad y salud que se deben tener en cuenta en obras de construcción.

La Directiva Europea 92/57/CEE establece el marco legal para este estudio básico. La transposición de esta directiva a la legislación italiana, de aplicación en este caso, se lleva a cabo en el Decreto Legislativo nº 494 14/8/1996, y se modifica en el Decreto Legislativo nº 528 19/11/1999. En estos documentos se incluyen los contenidos mínimos que ha de contener este estudio básico. Además indica que se deben contemplar las medidas de prevención de riesgos que resulten de la posible presencia simultánea o consecutiva de distintas empresas o de trabajadores autónomos y debe regular el uso de medios comunes cuando sea necesario: desde infraestructuras hasta medios logísticos y de seguridad colectiva. El plan consta de un informe técnico y requisitos operativos relacionados con la complejidad de la obra que se va a realizar, así como posibles fases críticas del proceso de construcción. Deben identificarse los riesgos laborales que pueden ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias. Para los riesgos que no pueden ser evitados deben indicarse las medidas de protección y prevención que deben adoptarse para reducirlos.

En especial, en la modificación del Decreto Legislativo de 1999 se incluyen los temas que se deben tratar en este estudio básico de seguridad, si corresponde:¹² (Traducción libre por Francisco Manteiga Vázquez).

- a) Indicaciones para el cercado de la obra, accesos y señalizaciones.

- b) Medidas de seguridad contra posibles riesgos desde el entorno.

- c) Servicios higiénico-sanitarios.

¹ <http://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:1996-8-14;494> (Consultado el 26/06/2015)

² <http://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:1999-11-19;528> (Consultado el 26/06/2015)

- d) Medidas de seguridad asociadas con la presencia de líneas de tuberías aéreas o subterráneas.
- e) Transitabilidad de la obra.
- f) Redes de electricidad, agua, gas y energía de cualquier tipo.
- g) Toma de tierra y protección contra relámpagos.
- h) Medidas generales de protección contra el riesgo de sepultamiento en las excavaciones
- i) Medidas generales de protección contra riesgo de ahogamiento.
- l) Medidas generales de protección contra el riesgo de caídas desde una altura.
- m) Medidas generales para asegurar la salubridad del aire en el trabajo en túneles.
- n) Medidas para garantizar el soporte de paredes y bóvedas en las obras en túneles.
- o) Medidas generales de seguridad para casos de demoliciones prolongadas o mantenimientos, que deben definirse en la fase de proyecto.
- p) Medidas de seguridad contra riesgos de incendio o explosión asociada al trabajo o al uso de materiales peligrosos durante la construcción.
- q) Disposiciones para cumplir lo previsto en el artículo 14.

El artículo 14 del Decreto Legislativo nº 494 14/8/1996 expresa la existencia de representantes de la seguridad del proyecto y la necesidad de consultarles los planes previstos, así como el poder de éstos de pedir aclaraciones sobre cualquier tema que consideren oportuno a este respecto.

- r) Disposiciones para cumplir lo previsto en el Artículo 5, apartado 1, letra c)

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

En dicha referencia se expresa la necesidad del coordinador de la ejecución del trabajo de organizar a los distintos empleadores, incluyendo autónomos, para la cooperación y coordinación de la actividad, así como la transmisión de información entre ellos.

s) Evaluación de los gastos previstos para la ejecución de los distintos elementos del plan.

t) Medidas de protección que deben adoptarse contra los cambios excesivos de temperatura.

2. Consideraciones de la obra

La construcción tendrá lugar en los terrenos de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la ciudad de Treviso, en la provincia homónima, al noreste de Italia.

La obra consiste en la construcción de una planta de codigestión anaerobia de RSU orgánicos y los lodos de la depuradora.

El único acceso al área donde se debe desarrollar la obra es la Via Cesare Pavese. Es una vía asfaltada de unos 6 metros de ancho. Las vías principales más cercanas son la autopista A27, que conecta la ciudad de Mestre, al sureste de la provincia del Véneto, con el municipio de Ponte nelle Alpi.

Las fases de construcción de esta obra son:

- Reconocimiento de las obras por el Contratista, acompañado de la Propiedad o de la Dirección Técnica de Obra.
- Organización previa de los trabajos.
- Licencias de ocupación de la calzada, permisos y otros.
- Organización de la zona de obra.
- Desarrollo de los trabajos:
 - Cimientos.
 - Colocación de anclajes y depósitos.
 - Montaje de equipos y tuberías.
 - Soldaduras.
 - Comprobación de las soldaduras por radiografiado.

- Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida o control.

3. Análisis de riesgos

En este apartado se indicarán los riesgos que pueden existir en las distintas fases de construcción de la obra. Se deben dar indicaciones relacionadas con los apartados que correspondan en este caso de los mencionados en el punto 1 de Introducción.

3.1. Movimientos de tierras

En la primera fase de la obra se llevan a cabo los movimientos de tierra necesarios para el acondicionamiento del terreno. En este caso, al estar trabajando en una parcela ya edificada por la construcción de la Estación de Depuración de Aguas Residuales, no serán necesarias tareas de desmonte ni explanación. Sin embargo sí son necesarios movimientos de tierra ya que ciertos equipos necesitan estar semienterrados, concretamente el digester anaerobio (R-201).

Los riesgos a los que se pueden ver sometidos los trabajadores que desempeñen estas tareas son, principalmente:

- Caída de personas, materiales y objetos en el mismo nivel, pero especialmente a distinto nivel.
- Accidentes que involucran conducciones subterráneas de electricidad, agua, gas o telecomunicaciones.
- Vuelco de la maquinaria, en especial durante las operaciones de carga o descarga de tierra.
- Accidentes que involucran vehículos en circulación.
- Atropello de peatones.
- Accidentes por circulación en terrenos o condiciones adversas.
- Irrupción accidental de aguas
- Trabajo en condiciones meteorológicas adversas, especialmente en zonas húmedas o mojadas.

3.2. Cimentación y estructuras

Contemplando principalmente riesgos relacionados con:

- Caída de personas, materiales y objetos en el mismo nivel, pero especialmente a distinto nivel.
- Ambientes con polvo en suspensión.
- Inhalación de vapores
- Aplastamientos y atrapamientos.
- Accidentes que involucren el tráfico de camiones.
- Dermatitis propiciada por el contacto con hormigón
- Hundimiento, caída o rotura de estructuras de sujeción o encofrado.
- Radiaciones producidas por la soldadura
- Quemaduras provocadas por la soldadura
- Trabajo en condiciones meteorológicas adversas, especialmente en zonas húmedas o mojadas.

3.3. Cubiertas y materiales ligeros

Con especial atención en:

- Caída de personas, materiales y objetos en el mismo nivel, pero especialmente a distinto nivel.
- Aplastamientos y atrapamientos.
- Sobreesfuerzos, lesiones o cortes en extremidades.
- Dermatitis propiciada por el contacto con cemento y cal.
- Contactos eléctricos directos e indirectos.
- Quemaduras producidas durante impermeabilizaciones
- Trabajo en condiciones meteorológicas adversas, especialmente en zonas húmedas o mojadas.

3.4. Albañilería y cerramientos

Teniendo que prestar especial atención a:

- Caída de personas, materiales y objetos en el mismo nivel, pero especialmente a distinto nivel.

- Aplastamientos y atrapamientos.
- Sobreesfuerzos, lesiones o cortes en extremidades.
- Dermatitis propiciada por el contacto con cemento y cal.
- Contactos eléctricos directos e indirectos.
- Riesgos asociados al acceso al lugar de trabajo y a medios auxiliares empleados.

3.5. Terminaciones

Incluyendo pintura, carpintería, vidriería, alicatados... Prestando especial atención a:

- Caída de personas, materiales y objetos en el mismo nivel, pero especialmente a distinto nivel.
- Aplastamientos y atrapamientos.
- Sobreesfuerzos, lesiones o cortes en extremidades.
- Trabajo en ambientes pobres en oxígeno.
- Inhalación de gases y vapores.
- Radiaciones producidas por la soldadura.
- Quemaduras producidas por la soldadura u otras herramientas de trabajo.
- Riesgos asociados al almacenamiento inadecuado de productos combustibles.

3.6. Instalaciones auxiliares

Incluyendo instalaciones de fontanería, eléctricas, de gas, calefacción, pararrayos, toma de tierra...

- Caída de personas, materiales y objetos en el mismo nivel, pero especialmente a distinto nivel.
- Dolencias de la piel.
- Contactos eléctricos directos o indirectos.
- Ambientes pobres en oxígeno.

- Inhalación de gases y vapores.
- Explosiones e incendios.
- Radiación producida por la soldadura
- Quemaduras producidas por la soldadura u otras herramientas de trabajo.

4. Medidas de protección y prevención colectivas

La función principal de este estudio es indicar las medidas de prevención y protección contra los riesgos mencionados en el apartado 3. En caso de que el riesgo pueda prevenirse se adoptarán medidas a tal efecto. Si no puede prevenirse se adoptarán medidas de protección para minimizar las consecuencias en caso de accidente.

4.1. Movimientos de tierras

La medida más básica para prevenir los riesgos de los movimientos de tierra es la realización de un estudio geotécnico de la zona. Con ello se consigue señalar los posibles peligros inherentes del terreno que es imprescindible tener en cuenta. Además se deben considerar otras medidas:

Medidas destinadas a la localización de cables y conducciones subterráneos de agua, gas, electricidad o telecomunicaciones. Se solicitará información a las compañías correspondientes o al ayuntamiento. En caso de existir conducciones en el terreno de la obra se debe señalar correctamente y se tomarán medidas de prevención convenientes como aislamiento, protección, limitación del acceso... Es recomendable consultar a un experto en la materia o guías técnicas correspondientes a cada tipo de conducción que se puede encontrar.

Para prevenir los desplazamientos no deseados del terreno debe utilizarse, si es necesario, un sistema de contención como entibaciones o taludes. También se instalarán los sistemas de prevención necesarios para impedir la caída de personas o materiales.

Deben habilitarse vías provisionales para la circulación de vehículos y evitar la circulación de vehículos y operarios por la misma vía para evitar accidentes.

Se instalarán sistemas de protección colectiva, como pueden ser redes o toldos en función de los riesgos de cada situación. Además se informará a los trabajadores de los riesgos con una correcta señalización de los mismos.

4.2. Cimentación y estructuras

El montaje y desmontaje de estructuras provisionales o definitivas se hará bajo la supervisión y el control de una persona competente en la materia. Esta persona, o un equipo, dispondrá el procedimiento adecuado para el montaje y desmontaje con las acciones y consideraciones de seguridad que deban seguir los operarios.

Durante las etapas de montaje de estructuras y de cimentación la estabilidad de la construcción puede ponerse en entredicho con mayor facilidad así que se habilitarán dispositivos de protección temporales para estas etapas. Estos equipos pueden ser:

- Barandillas
- Toldos
- Redes
- Andamios
- Escaleras convenientemente acondicionadas

Las zonas de trabajo han de estar convenientemente iluminadas y acondicionadas, y si no se dispone de una instalación de servicios definitiva se instalarán generadores provisionales. Se deben considerar las distancias de seguridad de las zonas de trabajo con líneas eléctricas.

4.3. Cubiertas y materiales ligeros

Igual que en el caso anterior en esta etapa de la construcción la obra puede no ser todo lo estable que se desearía, así que se instalarán dispositivos provisionales de seguridad similares a los del apartado anterior de Cimentación y estructuras. Se hace especial hincapié, por estar tratando con cubiertas y zonas de construcción elevadas, en el uso de barandillas, escaleras de acceso acondicionadas y redes de seguridad.

Las zonas de tránsito y transporte de materiales y escombros deben estar convenientemente habilitadas y libres.

4.4. Albañilería y cerramientos

Igual que en los anteriores apartados debe considerarse el empleo de dispositivos temporales de seguridad y prevención como son redes de seguridad, barandillas, escaleras, toldos, andamios, etc. Este apartado comprende trabajos de diversas partes

de la obra así que en cada caso deben habilitarse los dispositivos que correspondan a los riesgos existentes.

4.5. Terminaciones

Igual que en el apartado de albañilería, en esta etapa se realizan trabajos en diversas partes de la obra así que los dispositivos de seguridad temporales deben utilizarse y deben seleccionarse en función de los riesgos existentes. Es especialmente reseñable en este caso la correcta utilización de las medidas de seguridad propias de las máquinas como el uso de cubiertas de seguridad.

4.6. Instalaciones auxiliares

Una vez más la realización de trabajos en diversas partes de la planta, generalmente en condiciones de altura o subterráneas debe contar con dispositivos de seguridad temporales adecuados a cada situación. Además en trabajos subterráneos es especialmente reseñable el uso de dispositivos de protección eléctrica por poder estar en condiciones de humedad.

5. Equipos de protección individual (EPI's)

La consideración de equipos de protección individual se rige según la legislación europea por la Directiva 89/686/CEE. (en 2014 se suprimió el artículo 6, apartado 1, mediante un Reglamento, debido a que generaba interpretaciones divergentes. En cualquier caso no afecta sustancialmente a la interpretación de este estudio básico de seguridad).

Esta directiva se transpone a la legislación italiana en el Decreto Legislativo nº475 4/12/1992.

³Además se modifica en el Decreto Legislativo nº10 2/1/1997.⁴ (Traducción libre por Francisco Manteiga Vázquez)

Según este Decreto Legislativo, en su artículo primero, se consideran EPIs los productos cuya función es salvaguardar la persona que los emplea, o de algún modo los lleva consigo, de riesgos para la salud y la seguridad.

En el apartado 3 de este artículo se indica que también se consideran EPIs:

³ <http://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:1992-12-4;475> (Consultado el 26/06/2015)

⁴ <http://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:1997-1-2;10> (Consultado el 16/06/2015)

- a) Unidades constituidas por diversos productos, vinculados entre sí por el fabricante, destinadas a la prevención de uno o varios riesgos simultáneos.
- b) Un EPI unido, aunque separable, a un producto no específicamente destinado a la protección de la persona que lo emplea o lo lleva consigo
- c) Un componente intercambiable de un EPI que se emplea únicamente como parte de este y que es indispensable para su correcto funcionamiento
- d) Los sistemas de unión de un EPI a un dispositivo externo, comercializado junto al EPI, incluso si no está destinado para ser empleado durante todo el período de exposición al riesgo.

Además en el artículo 3 se establece que la conformidad con los requisitos esenciales de seguridad debe ser acreditada por el fabricante dentro del marco CE.

Divide los EPIs en 3 categorías:

En la primera se incluyen los EPIs que protegen de riesgos leves. En fin se incluyen aquellos que protegen de las siguientes situaciones:

- Lesiones de poca consideración producidas por instrumentos mecánicos.
- Lesiones de poca consideración causadas por detergentes.
- Riesgos derivados del contacto con objetos calientes que no expongan una temperatura mayor de 50°C.
- Fenómenos atmosféricos ordinarios en el transcurso de la actividad profesional.
- Golpes menores y vibraciones que no alcanzan órganos vitales ni provocan lesiones permanentes.
- Lesiones provocadas por los rayos solares.

En la segunda categoría entran los EPIs que no tienen cabida en las otras dos categorías.

En la tercera categoría se incluyen los EPIs que protegen de un riesgo de muerte o de lesiones permanentes. En definitiva se incluyen los siguientes dispositivos:

- Dispositivos de protección respiratoria filtrante contra aerosoles sólidos, líquidos o gases irritantes, peligrosos, tóxicos o radiotóxicos.
- Dispositivos de protección aislante, incluyendo los de protección subacuática.

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

- EPIs que aseguran una protección limitada en el tiempo contra agresiones químicas o radiaciones ionizantes.
- EPIs para la actividad en ambientes con altas temperaturas (no inferior a 100 °C) con o sin radiación infrarroja, llamas o materiales fundidos.
- EPIs para la actividad en ambientes con temperaturas no superiores a -50°C
- EPIs destinados a salvaguardar de caídas de altura.
- EPIs destinados a salvaguardar de riesgos de exposición a tensiones eléctricas peligrosas o usados como aislantes para alta tensión
- Casco y visera para los motociclistas

El uso de EPIs se rige por la Directiva 89/655/CEE, que se transpone a la legislación italiana en el Decreto Legislativo nº 626 19/9/1994.⁵

En él se indica la obligación de su uso cuando los riesgos no pueden ser evitados o cuando las medidas de protección colectivas no son suficientes.

Además indica la obligación del empleador es el encargado de efectuar las valoraciones y análisis de los riesgos que no pueden ser evitados de otro modo, así como de identificar los EPIs necesarios para cada uno de los riesgos presentes y evaluar cuándo y en qué condiciones deben ser usados, en función de la fuente de riesgo, frecuencia de exposición, etc.

Es también el encargado del mantenimiento de los EPIs y de cuidar que su uso sea únicamente para las condiciones especificadas por el fabricante.

También es su obligación proporcionar la formación adecuada en caso de que el EPI la requiera para su correcta utilización. En cualquier caso debe proporcionarse entrenamiento para el uso de los EPIs incluidos en la tercera categoría de las que arriba se mencionan.

Por el otro lado los trabajadores están obligados a someterse a los programas de entrenamiento necesarios y a utilizar los EPIs correctamente en función de las instrucciones recibidas y de lo aprendido en los cursos de formación.

También se comprometen a hacerse cargo de los EPIs proporcionados y no alterarlos por propia voluntad. Una vez terminado su uso los EPIs deben ser guardados según los protocolos de la empresa. Deben informar inmediatamente de cualquier defecto o fallo de funcionamiento de un EPI.

⁵ <http://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:1994-9-19;626> (Consultado el 26/06/2015)

En este caso particular los EPIs de más frecuente utilización son:

- Casco de seguridad.
- Botas o calzado de seguridad.
- Botas de seguridad impermeables.
- Guantes de lona y piel.
- Guantes impermeables.
- Gafas de seguridad y pantallas de soldador.
- Protectores auditivos.
- Cinturón de seguridad y antivibratorio.
- Ropa de protección.
- Otros como mascarillas, guantes de impermeabilización, trajes de agua impermeable.

5.1. Casco de seguridad

La función del casco de seguridad es proteger la parte superior de la cabeza frente a golpes o caídas de objetos. Además protege frente a contacto eléctrico accidental o salpicaduras, aunque no es su principal función.

Normalmente están elaborados en polietileno de modo que sea un material resistente pero ligero, porque si no no sería practicable su uso. Suelen tener un sistema de amortiguación también de polietileno recubierto con almohadillas o cuero en las zonas de contacto con la cabeza para aumentar la ergonomía.

5.2. Calzado de seguridad

La función del calzado de seguridad es proteger el pie frente a la caída de objetos o aplastamiento. Para tal efecto están normalmente reforzados en la punta con una chapa metálica además de otras capas de refuerzo.

Es especialmente interesante que la suela sea aislante tanto eléctrico como térmico y que además proporcione protección química si fuese necesario. Además la suela debe ser antideslizante para no introducir un riesgo más en su uso. Si se diese el caso también podrían requerirse botas impermeables recubiertas en goma.

5.3. Guantes

La función de los guantes es básicamente proteger las manos de cualquier peligro. Dada la gran diversidad de peligros a los que se pueden ver expuestas las manos hay distintos tipos de guantes:

- Guantes de protección mecánica, fabricados normalmente en elastómeros o cuero. Son de especial interés en este tipo de obras de construcción.
- Guantes de protección contra cortes y pinchazos, basados en malla metálica y tejidos. También pueden ser necesarios en obras de construcción.
- Guantes de protección térmica, empleados, por ejemplo, en la soldadura.
- Guantes de protección contra riesgos eléctricos. Son aislantes y disipan la acumulación de carga electrostática. Típicamente fabricados en elastómeros. Pueden ser complementarios de otros guantes como los de protección mecánica o contra cortes.
- Guantes de protección química. No son necesarios normalmente en este tipo de obra aunque puede haber condiciones particulares que los requieran.

5.4 Gafas de seguridad y pantallas de soldador

La finalidad de las gafas de seguridad es la protección de los ojos y de la cara. Dependiendo del tipo de riesgo que se intente prevenir existen soluciones adaptadas a gran cantidad de situaciones. Normalmente estarán construidas en plástico o vidrio, aunque pueden necesitarse monturas metálicas dependiendo del caso.

En general sirven para proteger los ojos y la cara de salpicaduras, impactos de objetos o partículas. En el caso particular de las pantallas de soldadura protegen frente a la radiación producida pero también frente a la proyección y el impacto de metal fundido fruto de la propia operación de soldadura.

5.5. Protección auditiva

Los cascos de protección auditiva tienen como finalidad proteger el oído de perturbaciones que podrían dañarlo como ruidos demasiado elevados o demasiado prolongados. Dependiendo de la fuente del ruido existen diversas soluciones para protegerse, que van desde simples tapones que sellan el conducto auditivo hasta cascos que cubren parte de la cabeza para prevenir la transmisión de vibraciones provocadas por un ruido muy intenso, pasando por orejeras o orejeras acopladas a cascos de protección.

En este caso concreto el uso de protección auditiva estará supeditado al uso de máquinas que produzcan niveles altos de ruido. No sólo el operario que utiliza la máquina debe protegerse, sino todos aquellos operarios expuestos a un nivel excesivo de ruido.

5.6. Cinturón de seguridad

La función del cinturón de seguridad es proporcionar un punto de agarre para el sistema de protección contra caídas. Cuando sea necesario se acoplará al cinturón un anclaje que sostendrá al trabajador en caso de una caída fortuita.

Además el sistema de protección contra caídas puede permitir, en un momento dado, que el operario trabaje suspendido en el aire, pudiendo alcanzar lugares que de otro modo no podría o le resultaría mucho más complicado.

Por otro lado permite el acceso a lugares de trabajo poco seguros y la retirada del operario desde el exterior si fuese necesario.

5.7. Ropa de seguridad

La ropa de seguridad ofrece protección para el cuerpo entero o parte de él. Dependiendo del tipo de riesgo existen ropas de seguridad particulares. En especial es reseñable en este caso particular:

- Ropa de protección contra salpicaduras y lluvia.
- Ropa de protección contra cortes y pinchazos.
- Ropa de protección térmica.

6. Obligaciones de los distintos agentes que actúan en la obra

Como se ha introducido en la revisión de la legislación correspondiente a los EPIs en una obra de construcción cada participante tiene sus obligaciones y ninguno de ellos debe saltárselas para no permitir un mal funcionamiento del plan de seguridad que puede terminar en un accidente. En la legislación italiana vienen recogidas en el Decreto Legislativo nº81 9/4/2008.⁶ Concretamente en los artículos 15 al 20.

Por un lado se recogen las obligaciones del **empleador** y del **dirigente**:

⁶ <http://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2008-4-9;81> (Consultado el 26/06/2015)

Básicamente se le encomiendan las tareas de nombrar y seleccionar los encargados de las medidas de prevención, incluyendo revisiones sanitarias y evaluación de riesgos, así como velar por que los encargados de esas tareas cumplan su función. Además es su deber informar a los trabajadores de la exposición a riesgos, la convocación de reuniones periódicas y la comunicación con las instituciones. La lista exhaustiva se puede encontrar en la referencia del Decreto Legislativo.

Sin embargo existen dos obligaciones que el empleador o dirigente no pueden delegar, y es interesante resaltarlas:

- La designación del responsable del servicio de protección y prevención de riesgos.
- La evaluación de todos los riesgos y la consiguiente elaboración del documento de evaluación de riesgos recogido en el artículo 28 de este Decreto Legislativo.

Exceptuando estos casos la delegación de tareas y responsabilidades se admite bajo las siguientes condiciones:

- Que sea plasmada en un documento escrito y fechado.
- Que el delegado posea los requisitos profesionales y la naturaleza específica para ejercer sus funciones como tal.
- Que confiere al delegado los poderes de organización, gestión y control que requieren las tareas que son delegadas.
- Que confiere al delegado la autonomía necesaria para el desempeño de las tareas delegadas.
- Que la delegación sea aceptada por el delegado por escrito

Las tareas del **encargado** son las siguientes:

- Supervisar y garantizar el cumplimiento por parte de los trabajadores de sus obligaciones legales así como las disposiciones de salud y seguridad en el trabajo y el uso de equipos de protección individual y dispositivos de protección colectiva a su disposición. Y en caso de persistir en el incumplimiento es el encargado de informar a los superiores.
- Verificar que sólo los trabajadores han recibido instrucciones adecuadas puedan acceder a las zonas donde exista un riesgo grave y específico.

Planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

- Exigir el cumplimiento de las medidas de control de situaciones de riesgo en caso de emergencia y dar instrucciones a los trabajadores para que, en caso de peligro grave inminente e inevitable, abandonen el puesto de trabajo y la zona peligrosa.
- Informar tan rápido como sea posible a los trabajadores expuestos al riesgo de un peligro grave e inminente sobre dicho riesgo y sobre las medidas que deben adoptar para su protección.
- Abstenerse, salvo excepciones debidamente motivadas, de exigir a los trabajadores que retomen su actividad en una situación en la que persiste un peligro grave e inminente.
- Indicar al empleador o al dirigente de las deficiencias de los equipos o EPIs o cualquier otra condición de peligro que se descubra durante el trabajo.
- Acudir regularmente a cursos de formación.

Y los **trabajadores** también tienen sus obligaciones definidas. En general se dice que cada trabajador debe tener cuidado de su salud y seguridad, pero también de aquellos que estén en el lugar de trabajo y sobre los que recae el efecto de las acciones u omisiones, conforme con su formación las instrucciones y los medios proporcionados por el empleador. En particular un trabajador debe:

- Contribuir, junto con el empleador, el dirigente y el encargado, a llevar a cabo las medidas previstas para la seguridad y la salud en el lugar de trabajo.
- Observar las instrucciones del empleador, dirigente y encargado con el fin de la protección colectiva e individual.
- Utilizar correctamente el equipo de trabajo, las sustancias y los preparados peligrosos, así como los medios de transporte y los dispositivos de seguridad.
- Utilizar de forma apropiada los dispositivos de protección puestos a su disposición.
- Señalar inmediatamente al empleador, dirigente o encargado las deficiencias en los dispositivos anteriormente mencionados que puedan ocasionar condiciones de peligro. En caso de urgencia debe actuar, dentro de sus competencias y sin ir en perjuicio de la siguiente obligación.
- No eliminar ni modificar sin autorización los dispositivos de seguridad, señalización o control.
- No ejecutar por propia iniciativa maniobras u operaciones que no son de su competencia y que puedan comprometer la seguridad propia o de otros trabajadores.

- Participar en los programas de formación organizados.
- Someterse a los controles sanitarios previsto salvo que el médico ordene lo contrario.

Los trabajadores bajo regímenes de contrata o subcontrata deben presentar una tarjeta de reconocimiento acompañada de una fotografía que contenga información sobre el empleador. Dicha obligación incumbe también a los trabajadores autónomos que ejercen su propia actividad en el mismo lugar de trabajo.

Los **proyectistas** deben respetar los principios generales de prevención en términos de seguridad y salud en el trabajo a la hora de tomar decisiones de diseño y técnicas. La elección de equipos, componentes y dispositivos de protección debe cumplir con las leyes vigentes.

Obligaciones de **fabricantes y proveedores**:

Queda prohibida la fabricación, venta, préstamo y concesión de equipo de trabajo, EPIs y planes que no responden a las disposiciones legales y reglamentarias vigentes en materia de salud y seguridad en el trabajo.

En caso del uso de bienes sujetos a las verificaciones de conformidad, éstos deben ir acompañados de la correspondiente documentación.

Obligaciones de los **instaladores**:

Los instaladores de plantas, equipo de trabajo u otros medios técnicos, dentro de sus competencias, deben atenerse a las normas de seguridad y salud en el trabajo, así como a las instrucciones de los respectivos fabricantes.

7. Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo

El empleador, antes de iniciar la obra, debe elaborar un Plan de Seguridad y Salud en el que se analicen, estudien, completen y desarrollen las indicaciones marcadas en este Estudio Básico de Seguridad y Salud, adecuándolo a su propio sistema de trabajo y de ejecución de la obra.

En ese Plan deben incluirse las alternativas que se propongan como medidas de prevención, con su justificación técnica. En ningún caso esas medidas podrán significar una bajada en los niveles de protección previstos en este Estudio.

**PLANTA DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE
LODOS DE DEPURADORA Y RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidade de Santiago de Compostela

Escola Técnica Superior de Enxeñería

Julio, 2015

Francisco Manteiga Vázquez

ÍNDICE

1. Descripción del proyecto	2
2. Análisis de alternativas	4
2.1. Justificación de la situación	4
2.2. Justificación de las soluciones adoptadas	4
3. Inventario ambiental e identificación de impactos	5
3.1. Inventario ambiental	5
3.2. Identificación y valoración de riesgos y molestias inducibles	8
3.3. Identificación y valoración de factores estéticos y culturales	9
3.4. Identificación y valoración de factores sociales, económicos y políticos	10
3.5. Identificación de impactos ambientales	12
3.5.1. Etapa de construcción y puesta en marcha	12
3.5.2. Etapa de operación	13
3.5.3. Etapas de mantenimiento o mejora	14
3.6. Medidas para reducir los impactos	14
3.6.1. Etapa de construcción	15
3.6.2. Etapa de operación	15
3.6.3. Mantenimiento y mejora	16
3.6.4. Prevención de incendios y explosiones	16

1. Descripción del proyecto

El proyecto que aquí se trata es el diseño y construcción de una planta de codigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora. Se consumen unos 85 m³/día de lodos de depuradora y 23.66 T/día de la fracción orgánica de los RSU. La planta opera 320 días al año, 24 horas al día.

Esta planta consta de tres secciones principales:

- Pretratamiento de los RSU:

Los RSU llegan a la planta del mismo modo que son depositados en los contenedores de recogida selectiva. Por lo tanto es necesario un pretratamiento que consiste, básicamente, en una reducción y uniformización del tamaño, seguido por la retirada de metales ferrosos y de los flotantes e inertes pesados presentes en los residuos.

Para permitir que el pretratamiento se efectúe en discontinuo se plantean tanques de almacenamiento y dosificación tanto de los residuos recién llegados a la planta como de los mismos una vez uniformizado su tamaño y retirados los metales ferrosos.

- Reacción:

La digestión anaerobia es la base de la revalorización de los lodos de depuradora y de los RSU. En esta etapa los sólidos volátiles que contienen tanto los lodos de la depuradora como los RSU se convierten en metano y CO₂ en condiciones de ausencia de oxígeno. Es un proceso biológico en el que varios grupos de microorganismos degradan, rompen y transforman los volátiles en metano y CO₂.

En la sección de reacción se incluyen los intercambiadores de calor para llevar la alimentación fresca hasta la temperatura de operación. Se consideran dos intercambiadores: uno de precalentamiento e integración energética, en el que la corriente de lodos de salida del digester transmitirá parte de su energía a la corriente de alimentación fresca.

El otro intercambiador emplea agua de calefacción para calentar la alimentación fresca y una recirculación del interior del digester hasta la temperatura de operación. La recirculación se calienta con el fin de conseguir compensar las pérdidas de calor por las paredes del digester. Se podría evitar esta recirculación calentando la alimentación fresca por encima de la temperatura de operación, pero además de posibles inestabilidades

obligaría a la instalación de un nuevo sistema de mezclado ya que el sistema que se propone es un sistema de jets que necesita el aporte de un caudal de alimentación considerable.

- Postratamiento:

Del digestor salen dos corrientes:

- Un slurry de lodos con alrededor de un 4.5 % de sólidos con bajo porcentaje de volátiles.
- Una corriente de biogás

Ambas corrientes requieren de un postratamiento:

Por un lado la corriente de lodos necesita ser deshidratada para conseguir un porcentaje de sólidos que permita enviarla a una etapa de procesado como puede ser el compostaje y de ese modo evitar en envío a vertedero, revalorizando una vez más el residuo.

Por otro lado la corriente de biogás como tal no es el producto final de la planta. El biogás será procesado en una instalación de cogeneración para producir calor y electricidad, abasteciendo parte o la totalidad de las necesidades energéticas de la planta y, si las condiciones fuesen muy optimistas, exportando energía eléctrica a la Red nacional.

La deshidratación de los lodos se consigue con un filtro de banda. Esta etapa de filtrado consiste en forzar la corriente de lodos muy diluida a circular entre dos bandas de tejido en continuo movimiento y que cada vez presionan más el lodo. De ese modo se fuerza al exceso de agua a atravesar el tejido y formar una nueva corriente de filtrado, y la corriente rica en sólidos sale del filtro lista para pasar a la siguiente etapa.

La etapa de cogeneración tiene lugar en un equipo compacto destinado para tal fin. Para el correcto funcionamiento de este tipo de equipo es la alimentación tenga un caudal constante. Esto es así gracias al sistema de cubierta que se instala en el digestor. La cubierta es una doble membrana que se infla o desinfla en función de la situación de operación del digestor para forzar o aliviar la salida del biogás.

Los consumos de la planta son básicamente de las materias primas (lodos de depuradora y RSU), agua de calefacción, electricidad para hacer funcionar los equipos y un polímero que se dosifica en la etapa de filtrado de la corriente de salida de lodos para favorecer la coagulación.

Las salidas de la planta son una corriente de lodos deshidratados que se enviará a compostaje, dos corrientes de residuos fruto de retirar los flotantes y los inertes pesados a los RSU mezclados con lodos activos de la depuradora, una corriente de metales ferrosos, una corriente de filtrado y la energía eléctrica y calorífica que se produce en el equipo de cogeneración, así como los gases resultantes de la combustión.

El origen de las consecuencias medioambientales del proceso que se lleva a cabo en la planta recae sobre los siguientes puntos:

- Emisiones de gases: Concentradas en la etapa de cogeneración. Son los gases que resultan de la combustión del biogás con aire. Es una corriente que estará formada principalmente por CO₂ y nitrógeno
- Corrientes de aguas residuales: Principalmente la corriente de filtrado del postratamiento de los lodos del digestor. Las corrientes de flotantes e inertes pesados del pretratamiento de RSU se consideran en un apartado diferente
- Corrientes residuales con sólidos: Principalmente la corriente de salida de lodos deshidratados y las corrientes de flotantes e inertes pesados que se retiran en el pretratamiento de RSU. También se incluye la corriente de metales ferrosos.

2. Análisis de alternativas

2.1. Justificación de la situación

El objetivo principal del proceso es dar tratamiento a los lodos de la depuradora, por lo tanto la situación de la planta será tan cerca como sea posible de la planta de tratamiento de aguas residuales. La planta da servicio a la ciudad de Treviso, en la provincia homónima, en la región del Véneto, en el noreste de Italia. La planta de tratamiento de aguas cuenta con terreno disponible para la ampliación de la planta.

No se trata de una planta de producción cuya localización pueda seleccionarse sino que al ser una planta de tratamiento de residuos de una estación en concreto su ubicación queda supeditada a la localización de dicha estación.

2.2. Justificación de las soluciones adoptadas

Para el diseño de la planta se toma como referencia la Mejor Técnica Disponible (MTD, BAT en inglés). Las MTD son las conclusiones que resaltan los documentos de referencia (BREFs).

El problema al que se busca solución es la disposición de lodos de depuradora. Los lodos de depuradora contienen sólidos biodegradables.

En el BREF de tratamiento de aguas y gases residuales, así como en el de tratamiento de residuos se recopilan las MTD para el tratamiento de distintos tipos de residuos. En este caso se plantea el tratamiento de la línea de lodos de la EDAR de Treviso. Esta línea puede ser considerada como un lodo o como una corriente de agua residual. En cualquier caso se caracteriza por tener una cantidad considerable de materia biodegradable y el objetivo de cualquiera que sea la técnica seleccionada será disminuir la DBO de la corriente y, en definitiva, la estabilización de los lodos.

En el documento se indican y desarrollan diversas técnicas para el tratamiento de este tipo de corrientes. La digestión anaerobia es considerada, destacando el beneficio que supone la producción de biogás, que se puede usar como combustible.

3. Inventario ambiental e identificación de impactos

3.1. Inventario ambiental

Se define como inventario ambiental el estudio de las condiciones ambientales en una determinada localización. En este caso servirá de base para determinar los efectos de la instalación de la planta.

Por lo tanto se debe hacer una caracterización del entorno de la planta antes de que ésta sea construida, es decir, de forma preoperacional.

La caracterización ambiental más genérica puede considerarse el **clima** de la zona ya que de éste dependerán factores ambientales como el tipo de suelo, fauna o flora que se desarrolle en el entorno.

Los datos para una descripción del clima son los siguientes¹:

¹Adaptado y traducido de <http://www.ilmeteo.it/portale/medie-climatiche/Treviso> (Consultado 26/06/2015)

Tabla 1. Datos climáticos de la ciudad de Treviso

Mes	Tmin	Tmax	Precip.	Humedad
Enero	-1 °C	7 °C	67 mm	79%
Febrero	1 °C	9 °C	65 mm	74%
Marzo	4 °C	13 °C	71 mm	70%
Abril	8 °C	17 °C	68 mm	71%
Mayo	12 °C	22 °C	90 mm	68%
Junio	15 °C	26 °C	105 mm	71%
Julio	18 °C	28 °C	66 mm	69%
Agosto	17 °C	28 °C	91 mm	70%
Septiembre	14 °C	25 °C	78 mm	72%
Octubre	9 °C	19 °C	81 mm	75%
Noviembre	4 °C	12 °C	87 mm	76%
Diciembre	-1 °C	7 °C	62 mm	79%
Media	8,3 °C	17,8 °C	77,6 mm	72,8%

De la Tabla 1 se extraen varias conclusiones:

- La temperatura mínima varía entre los -1 y 18 grados, siendo la media 8.3 °C, mientras que la máxima varía entre los 7 y los 28, siendo la media 17.8 °C.
- Las precipitaciones son bastante constantes a lo largo del año con una media mensual de 77.6 mm.
- La humedad en la ciudad de Treviso es considerablemente alta a lo largo de todo el año, con una media de 72.8% de humedad relativa.

Dado que ya está construida la planta de depuración de aguas residuales el hecho de que la construcción de esta planta en la misma localización provoque algún cambio en el clima o microclima de la zona es descartable.

Otro factor a tener en cuenta para el inventario ambiental es la **calidad del aire**. Para esta consideración es conveniente referirse al informe que cada año prepara la ARPAV

(Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto). En concreto se revisa el informe del último año, el 2014².

En dicho informe se reflejan los resultados de las mediciones de diversos contaminantes. Los resultados se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Límites y valores máximos registrados de algunos contaminantes del aire en la ciudad de Treviso en 2014

Contaminante	Límite máximo	Valor medido	Valor máx. registrado
SO ₂	350 µg/m ³	Media 1 hora	14 µg/m ³
NO ₂	200 µg/m ³	Media 1 hora	136 µg/m ³
CO	10 mg/m ³	Máx. diario (media 8 h)	2.3 mg/m ³
O ₃	180 µg/m ³	Valor máx. horario	212 µg/m ³
Benceno	5.0 µg/m ³	Media anual	0.6 µg/m ³
Polvo inhalable	50 µg/m ³	Media 24h	Superado 58 veces

Además se indican las concentraciones de metales pesados sobre las cuales se había establecido un objetivo mediante un Decreto Legislativo. El objetivo está cumplido con creces y los valores de concentración de metales pesados están muy por debajo en todos los casos.

Por lo tanto lo más reseñable de la calidad del aire es que existen problemas con el ozono y con el polvo inhalable, pues en ambos casos se superaron los límites establecidos. Es adecuado mencionar que en el caso del ozono, aunque se superó el límite establecido para la información de tal suceso, no se superó en ningún caso el límite de alarma.

Otra característica del entorno que se puede listar es la **geología** de la zona:

El terreno superficial en la zona de Treviso es arcilloso, con intercalaciones arenosas en los 10 primeros metros. Esta característica supone que no será demasiado complicado efectuar las tareas de movimientos de tierra. En cualquier caso la obra que se va a realizar no supone ningún efecto sobre terrenos más profundos que estos así que no es necesario hacer mayores aclaraciones.

Una característica más para tener en cuenta es la **hidrología** de la zona:

² <http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-treviso/aria/dap-treviso-campagne-di-monitoraggio-qualita/comune-di-treviso/Relazione%20finale%20Treviso%202014.pdf> (Consultado el 26/06/2015)

La EDAR de Treviso se sitúa justo a la orilla del río Sile, uno de los principales de la zona. Esto permite el vertido de las aguas depuradas. Sin embargo también supone una fuente de posibles consecuencias de un impacto ambiental negativo, pues el curso del río Sile delimita un Parque Regional Natural, característico por ser el río de manantial más largo de Europa.

Existe un exhaustivo análisis de la calidad del agua en la provincia de Treviso, donde se incluyen los datos correspondientes a la calidad del agua del río Sile a su paso por la ciudad de Treviso. Este informe está desarrollado, igual que el de la calidad del aire, por ARPAV.

También es interesante considerar la **flora y la fauna** de la zona. En la parcela donde se va a construir la planta no se producen cambios considerables, pues ya era una parcela habilitada para el desarrollo de la actividad industrial, sin embargo la zona puede sufrir cambios. Toda la cuenca del río Sile, como ya se ha indicado, conforma un Parque Regional Natural por lo que se presupone la existencia y el cuidado de especies animales y vegetales singulares o especialmente cuidadas por organizaciones de defensa de la vida silvestre.

3.2. Identificación y valoración de riesgos y molestias inducibles

En este apartado se contemplan, principalmente, los ruidos producidos por la planta.

Efectivamente los equipos que forman la planta son una fuente de ruidos y vibraciones, como en la mayoría de instalaciones industriales. Los ruidos y las vibraciones de esta instalación industrial no son, a priori, preocupantes. Destaca, en todo caso, el ruido de la línea de pretratamiento de RSU, con una trituradora, un tromel y un separador magnético que, al manejar residuos sólidos, generarán bastante ruido. Además es interesante el estudio del ruido generado por las bombas de desplazamiento positivo, el movimiento del fluido de proceso dentro del digestor y la soplante que alimenta de aire al interior de la doble membrana que cubre el reactor.

En el aspecto legal el control de los niveles de ruido recibidos por la población se rigen, en la legislación europea, por la Directiva 2002/49/CE. El objeto de esta Directiva es combatir el ruido que percibe la población en zonas urbanizadas, parques públicos u otras zonas tranquilas en una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido. No se aplicará al ruido producido por la propia persona expuesta, por las actividades domésticas, por los vecinos, en el lugar de trabajo ni en el interior de medios de transporte, así como tampoco a los ruidos debidos a las actividades militares en zonas militares.

Para la caracterización del ruido ambiente y de las molestias provocadas se utilizan cuatro parámetros indicadores: Lden, Lnight, Lday y Levening

- Lden es un indicador del nivel de ruido global durante el día, la tarde y la noche, que se usa para determinar la molestia vinculada a la exposición al ruido.
- Lnight es un indicador del nivel sonoro durante la noche que determina las alteraciones del sueño. Recoge medidas relativas a las horas entre las 22:00 y las 06:00.
- Lday es un indicador relativo al ruido ocurrido entre las 06:00 y las 20:00
- Levening es un indicador relativo al ruido ocurrido entre las 20:00 y las 22:00

Según la Directiva se cedió a los Estados Miembros la capacidad de fijar valores límites en términos de Lden y Lnight, que deberían haber sido comunicados ya en 2005.

Por tanto hay que referirse a la legislación nacional italiana.

En términos nacionales el control de los niveles de ruido está regulado por el Decreto Legislativo 19/8/2005 nº194.

Allí se explicita que la medición del ruido industrial se rige por la norma ISO 9613-2. Y que las técnicas de medición serán las recogidas por las normas ISO 8297, EN ISO 3244 y EN ISO 3746. Además se describen los métodos de evaluación para determinar los efectos que los ruidos tienen sobre la población.

3.3. Identificación y valoración de factores estéticos y culturales

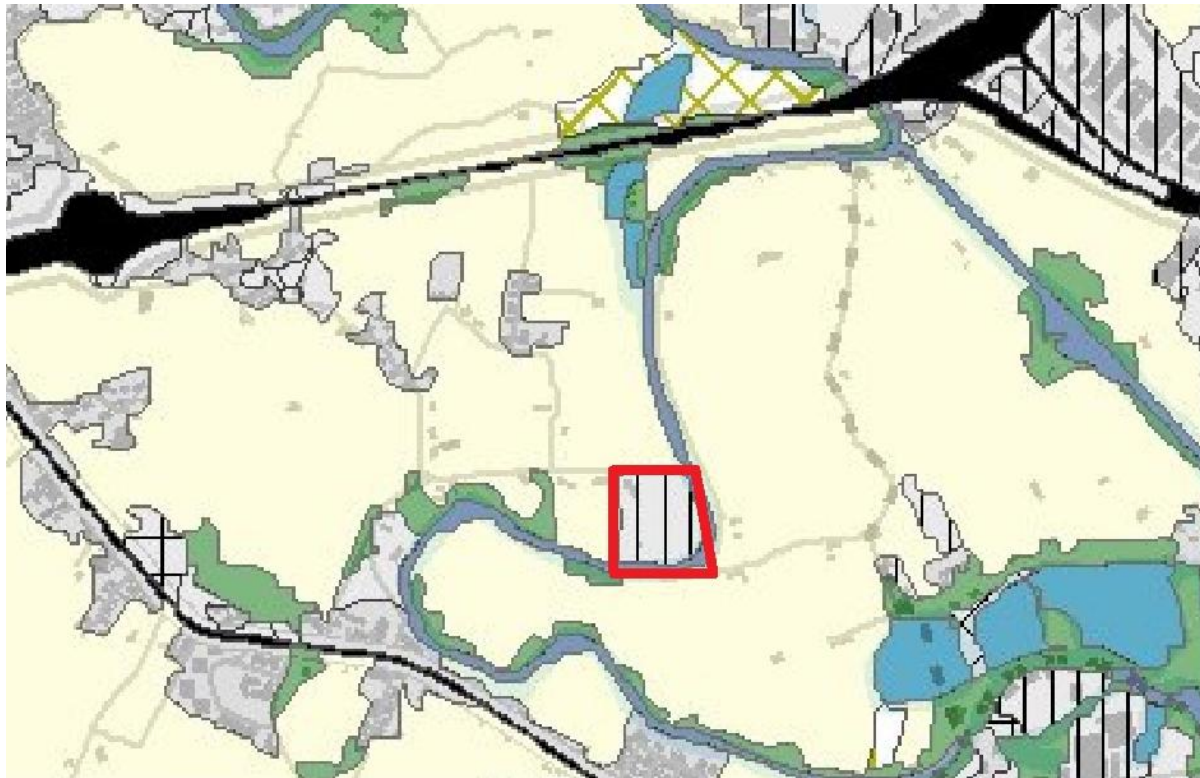
En el plano paisajístico la planta será cercana al Parque Natural Regional del río Sile, por lo que existe un riesgo de que esa zona se vea afectada.

La zona alrededor de la parcela es una zona principalmente agrícola con viviendas dispersas. El núcleo urbano más cercano es la ciudad de Treviso, a una distancia de unos 4 km.

Sin embargo la situación preoperacional ya contempla la existencia de una EDAR en la misma localización que la planta de codigestión, así que probablemente el riesgo de que esta nueva planta provoque algún cambio estético o cultural en la zona, significativamente mayor que el ya provocado por la construcción de la EDAR es muy bajo.

3.4. Identificación y valoración de factores sociales, económicos y políticos

En cuanto a la ordenación del territorio la ubicación de la planta se encuentra dentro de la parcela donde está instalada la Estación de Depuración de Aguas Residuales. Por lo tanto la parcela cumple con las condiciones para la actividad industrial. A su alrededor las parcelas son principalmente de suelo urbano y agrícola.



Superficie artificial

Superficie natural

	Tejido urbano continuo		Labradío no irrigado
	Tejido urbano discontinuo		Cultivo permanente
	Unidad industrial o comercial		Viñedos
	Red de carreteras y territorios asociados		Otros cultivos permanentes
	Artopuertos		Pastos
	Lugar de extracción minera		Áreas agrícolas heterogéneas: bosque y área seminatural
	Lugar de construcción		Bosque de latifolios
	Área verde urbana		Bosque de coníferas
	Estructuras de deporte y tiempo libre		Bosque mixto
			Asociación de vegetación

Figura 1. Mapa de los usos del suelo en los alrededores de la parcela, señalada en rojo³

³ Adaptado y traducido del archivo obtenido en <http://ows.provinciatreviso.it/geonetwork/srv/it/metadata.show?id=148&currTab=distribution> (Consultado el 26/06/2015)

En cuanto a los aspectos socioeconómicos la provincia de Treviso tiene una densidad de habitantes de 320 hab/km² y un total de casi 800.000 habitantes. El mayor núcleo urbano de la provincia es la ciudad de Treviso, con poco más de 83 mil habitantes. Las demás ciudades no superan los 35 mil habitantes.

La actividad que se desarrolla en los alrededores de la ubicación de la planta es fundamentalmente agrícola, como se puede ver en la Figura 1.

3.5 Identificación de impactos ambientales

El proyecto de esta planta se divide en tres fases a lo largo de toda su duración. En este apartado se analizan los impactos ambientales que puede sufrir el entorno a lo largo de las distintas etapas. Estas fases son:

3.5.1. Etapa de construcción y puesta en marcha

Durante la etapa de construcción se desarrollan actividades que pueden causar alteraciones en el entorno más allá de las alteraciones que se pretenden llevar a cabo deliberadamente para la preparación del terreno y la instalación y construcción de equipos.

Concretamente las fases más representativas de la etapa de construcción y puesta en marcha son:

- Transporte
Durante la etapa de construcción la zona verá un aumento circunstancial del tránsito de vehículos. Tanto de vehículos que transporten trabajadores como vehículos que transporten los materiales de construcción, los equipos o los residuos de las tareas de acondicionamiento y construcción.
- Preparación del terreno
En este caso la preparación del terreno no es una actividad que cambie drásticamente el terreno existente, pues ya estaba preparado para la EDAR que allí está construida. Sin embargo es necesaria una preparación del terreno que implica movimientos de tierra para acondicionarlo de cara a la instalación de equipos semienterrados, concretamente del digestor.
- Construcción de infraestructura y servicios
A priori existen puntos de conexión de utilidades y las edificaciones necesarias porque deberían estar usándose para el funcionamiento de la EDAR. En cualquier caso puede ser necesario un acondicionamiento de las vías de acceso para permitir la entrada de los vehículos de transporte y de preparación del terreno.

- **Construcción de la planta**

Desde tareas de cimentación de equipos grandes hasta la construcción de los equipos de proceso grandes, fundamentalmente del digester, la instalación de equipos pequeños como intercambiadores o bombas, el sistema de tuberías, la instrumentación...

- **Pruebas de equipos y puesta en marcha**

La primera arrancada de la planta debe estar precedida por un período de pruebas de los equipos que la componen y se puede considerar una etapa aparte porque se desarrollan tareas singulares que probablemente no vuelvan a tener lugar.

3.5.2. Etapa de operación

Durante la etapa de operación hay determinadas fases que pueden afectar al entorno y producir cambios en él que no sean deseables. Las fases en las que se divide este apartado son análogas a las fases del proceso:

- **Almacenamiento de los RSU sin tratar**

Por cuestiones de operación de la línea de pretratamiento físico de RSU es conveniente utilizar un tanque de almacenamiento con una capacidad equivalente al consumo diario de RSU. El problema ambiental que esto puede suponer son emisiones de volátiles y de olores debidas a la acumulación de residuos orgánicos.

- **Pretratamiento de los RSU**

Durante la línea de pretratamiento físico se mueven y manejan los RSU orgánicos. De nuevo el problema son las emisiones de volátiles y de olores que pueden suponer un problema ambiental e incluso un problema social. Además es una de las principales fuentes de ruido de la planta.

- **Almacenamiento de RSU pretratados**

De manera análoga el almacenamiento de RSU una vez pretratados presenta los mismos problemas que el almacenamiento de RSU antes de ser tratados.

- **Mezcla de RSU y lodos de depuradora**

El mezclado de los RSU y los lodos de depuradora puede suponer, de nuevo, una fuente de emisión de olores y volátiles. La necesidad de un sistema de agitación contribuye a este impacto.

- **Digestión anaerobia**

Durante la etapa de digestión anaerobia, salvo que se produzca un accidente, no debería suponer más impacto que el ruido que se pueda generar de la normal operación de la planta.

- **Cogeneración**

En la etapa de cogeneración se genera una corriente gaseosa fruto de la combustión del biogás. La corriente gaseosa, fundamentalmente caracterizada por la presencia de una cantidad considerable de CO₂, supone un impacto ambiental para la zona, pero además contribuye al impacto ambiental global de la combustión de combustibles fósiles.

- **Filtración**

En la etapa de filtrado se generan dos corrientes: una rica en sólidos que será tratada posteriormente en una etapa de compostaje y una corriente de filtrado.

La corriente rica en sólidos puede suponer una fuente de impacto ambiental por ser una corriente que contiene sólidos volátiles y además contiene microorganismos que han crecido en el digestor.

La corriente de filtrado, aunque no debe contener una cantidad significativa de sólidos, sí puede suponer un problema ambiental si es vertida directamente.

3.5.3. Etapas de mantenimiento o mejora

Por la naturaleza de la planta que cubre la necesidad de tratar el residuo de una depuradora, no se planea, en principio, un cierre de la planta. Mientras siga existiendo necesidad de depurar el agua residual urbana se seguirán produciendo lodos como resultado del proceso de depuración, salvo que un cambio en la tecnología de depuración tenga lugar. Para tratar esos lodos se plantea este proyecto. Lo que sí es probable es que llegado el caso sea necesario efectuar labores de mantenimiento o sustitución de los equipos instalados o incluso un cambio por una nueva tecnología de tratamiento de residuos. En cualquier caso el escenario más probable será un escenario de modificaciones y mejoras, más que un escenario de cierre.

En dicho supuesto se sucederán situaciones similares a las de la construcción de la planta. Posibles reacondicionamientos del terreno, construcción e instalación de nuevos equipos y estructuras y su consiguiente puesta en marcha.

3.6. Medidas para reducir los impactos

Una vez analizados los posibles impactos ambientales y sus fuentes es necesario indicar posibles medidas de protección y prevención contra dichos impactos. Igual que en la descripción de los impactos se distinguen las tres etapas del proyecto:

3.6.1. Etapa de construcción

Las medidas que se deben adoptar en esta etapa confluyen bajo la premisa de minimizar las molestias a la población. A la hora de hacer la designación de una empresa a la que contratar y subcontratar la obra se deben tener en cuenta factores como:

- Minimizar el tránsito innecesario de vehículos.
- No realizar tareas de mantenimiento o limpieza a vehículos y equipamiento en la obra.
- Considerar aquellos vehículos que tengan bajas emisiones de gases y ruido.
- Minimizar o anular las variaciones sobre el terreno y el ambiente fuera de la parcela industrial seleccionada.

Además de cualquier otra medida que responda a la premisa inicial.

3.6.2. Etapa de operación

- Almacenamiento de los RSU sin tratar
Se propone la utilización de tanques cerrados que impidan que las emisiones y los olores se dispersen. En todo caso, si fuese necesario, que el tanque se abra para la descarga de los residuos que llegarán a la planta en camiones y se mantenga cerrado el resto del tiempo.
- Pretratamiento de los RSU
En caso de que esto supusiera un problema ambiental se propone el uso de equipos cerrados que eviten que las emisiones salgan a la atmósfera.
Otra medida más sencilla sería la construcción de un edificio en el que se desarrolle la actividad de pretratamiento físico y en el que se confinen las posibles emisiones y olores.
- Almacenamiento de RSU pretratados
Igual que en el caso del almacenamiento antes del pretratamiento, se propone el uso de un tanque cerrado que no permita fugas de olores o emisiones.
- Mezcla de RSU y lodos de depuradora
Se plantea el uso de un tanque de mezcla cerrado, o bien protegido con una cubierta flexible. Además se plantean medidas de carácter general para la prevención de impactos ambientales fortuitos en tanques:
 - Llenado de tanques por el fondo
 - Instalación de alarmas de rebose y válvulas de seguridad
 - Instalación de un aliviadero de presión
 - El tanque debe estar instalado en un cubeto
- Digestión anaerobia

En cualquier caso debe instalarse el digestor en un cubeto para contener el resultado de posibles derrames o reboses. y minimizar las emisiones a la atmósfera o al suelo

- Cogeneración

Se propone la instalación de una chimenea que envíe los gases de combustión a una cierta altura para evitar los posibles efectos que pudiera tener en las cercanías una concentración demasiado elevada de los mismos

- Filtración

Se propone almacenar el digerido en un tanque cerrado hasta su recolección para llevarlo a la siguiente etapa.

En cuanto al filtrado se propone recircularlo hacia la entrada de la depuradora.

3.6.3. Mantenimiento y mejora

En este apartado aplica la misma premisa que en el apartado de construcción: se trata de disminuir el impacto de las obras en el entorno, disminuyendo el tráfico de vehículos, evitando su mantenimiento en obra, mejorando la tecnología de los mismos para que tengan menos emisiones...

3.6.4. Prevención de incendios y explosiones

Además de las medidas concretas para las distintas etapas del proyecto existen medidas específicas para la prevención de explosiones e incendios en operación. En especial aplican a la línea de biogás. La finalidad de estas medidas es evitar una situación de accidente que, además de daños económicos y posibles daños a los trabajadores, supondría un impacto ambiental que afectaría a toda la zona.

Las medidas que se proponen se basan en la instalación de sistemas de control para evitar sobrepresiones que puedan llevar a explosiones, y sistemas de seguridad para, en última instancia, aliviar las sobrepresiones que se puedan haber producido y minimizar el impacto de las mismas. La primera medida de seguridad para prevenir una situación de mayor riesgo es la instalación de una válvula de alivio que, llegado el momento, si se produce una sobrepresión y los sistemas de control no consiguen devolver el proceso a un punto estable la válvula entre en funcionamiento expulsando parte del gas que está presurizado en el reactor. Sin embargo el gas no es inocuo. Se trata de biogás, que es un gas inflamable. Tanto es así que su principal uso es como combustible. Por ese motivo no puede expulsarse directamente a la atmósfera más inmediata de la planta porque se estaría salvando una situación de riesgo pero generando otra.

La solución más inmediata para el caso de tener que aliviar una sobrepresión de un gas inflamable es el envío a un sistema de antorcha. En este tipo de sistemas se recibe una corriente de gas inflamable

Planta de codigestión de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos

y se quema de forma controlada para que no sea emitido el gas inflamable sino los gases que resultan de la combustión.

Además al estar tratando un combustible la planta debe contar con un sistema contra incendios para evitar que las consecuencias de un eventual accidente se propaguen hacia las zonas agrícolas y de bosque colindantes, o simplemente se propaguen por la planta.

**PLANTA DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE
LODOS DE DEPURADORA Y RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

**DOCUMENTO IV:
PLIEGO DE CONDICIONES**

Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidade de Santiago de Compostela

Escola Técnica Superior de Enxeñería

Julio, 2015

Francisco Manteiga Vázquez

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	7
1.1. OBJETO.....	7
1.2. DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS	7
PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS	8
CAPÍTULO 2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS	9
2.1. DELIMITACIÓN GENERAL DE FUNCIONES TÉCNICAS	9
2.1.1. EL DIRECTOR DE OBRA	9
2.1.2. EL CONSTRUCTOR	9
2.2. OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONSTRUCTOR O CONTRATISTA	10
2.2.2. VERIFICACIÓN DE LOS DOCUMENTOS DEL PROYECTO.....	10
2.2.3. PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD.....	10
2.2.4. OFICINA EN LA OBRA.....	10
2.2.5. REPRESENTACIÓN DEL CONTRATISTA.....	11
2.2.6. PRESENCIA DE CONSTRUCTOR EN LA OBRA	11
2.2.7. TRABAJOS NO ESTIPULADOS EXPRESAMENTE.....	11
2.2.8. INTERPRETACIONES, ACLARACIONES Y MODIFICACIONES DE LOS DOCUMENTOS DEL PROYECTO	12
2.2.9. RECLAMACIONES CONTRA LAS ÓRDENES DE LA DIRECCIÓN FACULTATIVA	12
2.2.10. RECUSACIÓN POR EL CONTRATISTA DEL PERSONAL NOMBRADO POR EL DIRECTOR DE OBRA	12
2.2.11. FALTAS DEL PERSONAL.....	13
2.3. PRESCRIPCIONES GENERALES RELATIVAS A LOS TRABAJOS, A LOS MATERIALES Y A LOS MEDIOS AUXILIARES	13
2.3.2. CAMINOS Y ACCESOS	13
2.3.3. REPLANTEO	13
2.3.4. COMIENZO DE LA OBRA RITMO DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.....	13

2.3.5. ORDEN DE LOS TRABAJOS.....	14
2.3.6. FACILIDADES PARA LOS CONTRATISTAS	14
2.3.7. AMPLIACIÓN DEL PROYECTO POR CAUSAS IMPREVISTAS.....	14
2.3.8. PRÓRROGA POR CAUSA DE FUERZA MAYOR.....	14
2.3.9. RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCIÓN DE FACULTATIVA EN EL RETRASO.....	15
DE LA OBRA.....	15
2.3.10. CONDICIONES GENERALES DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.....	15
2.3.11. OBRAS OCULTAS	15
2.3.12. TRABAJOS DEFECTUOSOS	15
2.3.13. VICIOS OCULTOS	16
2.3.14. PROCEDENCIA DE LOS APARATOS Y MATERIALES	16
2.3.15. PRESENTACIÓN DE MUESTRAS	16
2.3.16. MATERIALES NO UTILIZABLES.....	16
2.3.17. MATERIALES Y APARATOS DEFECTUOSOS.....	17
2.3.18. GASTOS POR PRUEBAS Y ENSAYOS.....	17
2.3.19. LIMPIEZA DE LAS OBRAS	17
2.3.20. OBRAS SIN PRESCRIPCIONES.....	17
2.4. RECEPCIONES DE INSTALACIONES Y OBRAS ANEJAS	18
2.4.2. RECEPCIONES PROVISIONALES	18
2.4.3. DOCUMENTACIÓN FINAL DE LA OBRA.....	18
2.4.4. MEDICIÓN DEFINITIVA DE LOS TRABAJOS Y LIQUIDACIÓN PROVISIONAL DE LA OBRA .	18
2.4.5. PLAZO DE GARANTÍA.....	19
2.4.6. RECEPCIÓN DEFINITIVA.....	19
2.4.7. PRORROGA DE PLAZO DE GARANTÍA.....	19
2.4.8. RECEPCIÓN DE TRABAJOS CUYA CONTRATA HAYA SIDO RESCINDIDA.....	19
CAPÍTULO 3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS.....	21
3.1. FIANZAS.....	21
3.1.1. FIANZA PROVISIONAL.....	21

3.1.2. EJECUCIÓN DE TRABAJOS CON CARGO A LA FIANZA	21
3.1.3. DEVOLUCIÓN.....	22
3.2. MEDICIÓN Y VALORACIÓN	22
3.2.1. COMPOSICIÓN DE LOS PRECIOS UNITARIOS.....	22
3.2.2. MEDICIÓN Y VALORACIÓN DE LAS OBRAS	22
3.2.3. MEDICIONES PARCIALES Y FINALES	23
3.2.4. ERRORES EN EL PRESUPUESTO	23
3.2.5. VALORACIÓN DE UNIDADES NO ESPECIFICADAS.....	23
3.2.6. RELACIONES VALORADAS Y CERTIFICACIONES	23
3.2.7. OBRAS SIN PRECIO POR UNIDAD	24
3.3. ABONO DE LAS OBRAS	24
3.3.1. LIQUIDACIONES PARCIALES	24
3.3.2. LIQUIDACIÓN FINAL	24
3.3.3. LIQUIDACIÓN EN CASO DE RESCISIÓN	24
3.3.4. ABONO DE OBRAS DEFECTUOSAS PERO ACCEPTABLES.....	25
3.4. OTRAS CONDICIONES.....	25
3.4.1. MEJORAS Y AUMENTO DE OBRAS	25
3.4.2. SEGURO DE LAS OBRAS.....	26
3.4.3. INDEMNIZACIONES MUTUAS.....	26
CAPÍTULO 4. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	29
4.1. INTRODUCCIÓN.....	29
4.2. INSTALACIONES MECÁNICAS	29
4.2.1. GENERAL	29
4.2.2. MATERIALES.....	30
4.2.2.1. ACCESORIOS.....	30
4.2.2.2. SOPORTES	30
4.2.2.3. RECIPIENTES A PRESIÓN.....	31
4.2.3. CONDICIONES DE EJECUCIÓN	31

4.2.3.1. TUBERÍAS Y ACCESORIOS	31
UNIONES	31
INTERFERENCIAS DE TRAZADO	31
CURVADO	32
SOLDADURA	32
PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD Y PRESIÓN	33
ACCIONES CORRECTIVAS.....	33
4.2.3.2. SOPORTES Y ESTRUCTURAS	33
DISEÑO DE MATERIALES Y FABRICACIÓN	34
UNIONES SOLDADAS	34
4.2.3.3. PINTURAS Y AISLAMIENTOS.....	34
TUBERÍAS Y ACCESORIOS	34
SOPORTES	35
4.2.3.4. CONTROL DE CALIDAD, INSPECCIÓN Y OBRAS.....	35
REQUISITOS GENERALES	35
PRUEBAS Y ENSAYOS EN TUBERÍAS	36
PRUEBAS HIDROSTÁTICAS.....	36
4.3. OBRA DE CIVIL.....	37
4.3.1. MATERIALES.....	37
4.3.1.1. HORMIGÓN	37
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	37
COMPONENTES.....	37
CEMENTO	37
AGUA.....	38
ÁRIDOS	38
4.3.1.2. ARMADURAS DE ACERO.....	39
4.3.1.3. ÁRIDOS DE RELLENO PARA ZANJAS	41
4.3.2. CONDICIONES DE EJECUCIÓN DE LA OBRA CIVIL.....	41

4.3.2.1. EXCAVACIONES Y ZANJAS	41
4.3.2.2. EJECUCIÓN DE OBRAS CON HORMIGÓN ENCOFRADOS Y MOLDES	42
ELABORACIÓN DE FERRALLA Y COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS PASIVAS	42
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.....	43
PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN	43
ALBAÑILERÍA	45
OTRAS OBRAS.....	46
4.4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA	46
4.4.1. OBJETO	46
4.4.2. DISEÑO DE EQUIPOS Y MATERIALES.....	47
4.4.2.2. CAJAS DE DERIVACIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	47
4.4.2.3. PRENSAESTOPAS.....	48
4.4.2.4. MATERIAL DE PUESTA A TIERRA	48
4.4.2.5. SOPORTES	48
4.4.3. CALIDAD DE EJECUCIÓN.....	48
4.4.3.1. CUADRO DE BAJA TENSIÓN.....	48
4.4.3.2. CABLES	49
4.4.3.3. RED DE PUESTA A TIERRA Y PARARRAYOS.....	50
4.4.3.4. INSPECCIONES, PRUEBAS Y RECEPCIONES.....	50
4.4.4. DOCUMENTACIÓN	51

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

CAPÍTULO 1: PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1. OBJETO

El presente documento, como parte del proyecto, tiene por objeto el establecimiento de las condiciones con arreglo a las cuales, ha de realizarse la ejecución de las obras de la planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos, así como las características que han de reunir los equipos que se empleen y la mano de obra, los detalles de la ejecución de la instalación y de su control.

El alcance de las prescripciones contenidas en este Pliego se hará extensivo a todas las acciones derivadas del cumplimiento del Contrato, incluso a las modificaciones que pudieran plantearse con arreglo a las disposiciones vigentes, extendiéndose temporalmente hasta la definitiva resolución del Contrato, es decir, continuarán vigentes, en lo que resulte aplicable hasta la definitiva liquidación de las obras.

1.2. DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS

- El capítulo de planos constituye la documentación que define las obras bajo un punto de vista geométrico y topográfico.
- El capítulo de pliego de condiciones define las condiciones generales de desarrollo del Contrato.
- El capítulo presupuesto define los precios unitarios que serán de aplicación a cada unidad de obra durante la ejecución del Contrato.
- En el caso de que exista una clara incompatibilidad entre los documentos del presente proyecto se tendrán en cuenta los siguientes criterios de preferencia
 - El documento de los planos tiene prelación sobre los restantes documentos en lo que a dimensiones y materiales se refiere.
 - El documento del pliego de condiciones tiene prelación sobre los restantes documentos en cuanto a características de los equipos que se empleen, así como en la ejecución, medición y valoración de las distintas unidades. Además, las disposiciones generales y referencias a normas e instrucciones, que figuren en el Proyecto serán de obligado cumplimiento en la ejecución del Contrato de las obras, aunque prevaleciendo las disposiciones particulares de este documento.

El documento del presupuesto tiene preferencia sobre los demás en lo referente a precios de las distintas unidades de obra.

PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

CAPÍTULO 2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

2.1. DELIMITACIÓN GENERAL DE FUNCIONES TÉCNICAS

2.1.1. EL DIRECTOR DE OBRA

Corresponde al Director de Obra:

- Redactar los complementos o rectificaciones del proyecto que se precisen.
- Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas.
- Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurren a la dirección con función propia en aspectos parciales de su especialidad.
- Aprobar las certificaciones parciales de obra, la liquidación final y asesorar al promotor en el acto de la recepción.
- Preparar la documentación final de la obra y expedir el certificado final de la misma.
- Planificar, a la vista del proyecto, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de las obras.
- Redactar, cuando se requiera, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el Plan de Seguridad e Higiene para la aplicación del mismo.
- Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente.
- Comprobar las instalaciones provisionales, medios auxiliares y sistemas de seguridad e higiene en el trabajo, controlando su correcta ejecución.
- Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de buenas construcciones.

2.1.2. EL CONSTRUCTOR

Corresponde al Constructor:

- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Disponer la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

- Suscribir con el Director de Obra, el acta de replanteo de la obra.
- Ostentar la Jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del Director de Obra, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.
- Facilitar al Director de Obra, con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- Suscribir con el Promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.

2.2. OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONSTRUCTOR O CONTRATISTA

2.2.2. VERIFICACIÓN DE LOS DOCUMENTOS DEL PROYECTO

Antes de dar comienzo a las obras, el Constructor consignará por escrito que la documentación aportada le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada, o en caso contrario, solicitará las aclaraciones pertinentes.

2.2.3. PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD

El Constructor, a la vista del Estudio Básico de Seguridad y Salud contenido en el Proyecto de Ejecución, presentará el Plan de Seguridad y Salud de la Obra a aprobación del Director de Obra.

2.2.4. OFICINA EN LA OBRA

El Constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el Contratista a disposición de la Dirección Facultativa los siguientes documentos:

- El Proyecto de Ejecución completo, incluidos los componentes que en su caso redacte el Director de Obra.
- La Licencia de Obras.
- El Libro de Órdenes y Asistencias.
- El Plan de Seguridad e Higiene.
- El Libro de Incidencias.
- El Reglamento y Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- La documentación de los seguros mencionados en el apartado 1.2 de este apartado de Condiciones Facultativas.

Dispondrá además, el Constructor, una oficina para la Dirección facultativa convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

2.2.5. REPRESENTACIÓN DEL CONTRATISTA

El Constructor queda obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la obra, que tendrá el carácter de Jefe de la misma, con dedicación plena y con facultades para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competen a la contrata. Sus funciones serán las ha especificadas para el Constructor.

La falta de calificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Director de Obra para ordenar la paralización de las obras sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

2.2.6. PRESENCIA DE CONSTRUCTOR EN LA OBRA

El Jefe de Obra, por si o por medio de sus técnicos o encargados, estará presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de Obra en las visitas que hagan a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándole los datos precisos para la comprobación de las mediciones y liquidaciones.

2.2.7. TRABAJOS NO ESTIPULADOS EXPRESAMENTE

Es obligación de la contrata el ejecutar, cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aún cuando no se halle expresamente determinado en los documentos de Proyecto, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Director de Obra

dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos habiliten para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

Se entenderá que requiere reformado de proyecto con consentimiento expreso de la propiedad, toda variación que suponga incremento de precios de alguna unidad de obra en más del 20% o del total del presupuesto en más de un 10%.

2.2.8. INTERPRETACIONES, ACLARACIONES Y MODIFICACIONES DE LOS DOCUMENTOS DEL PROYECTO

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos del Pliego de Condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Constructor, estando éste obligado a su vez 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 reciba del Director de Obra.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éste crea oportuno hacer el Constructor, deberá hacerlo dentro precisamente del plazo de tres días. El Director de Obra dará al Constructor el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

El Constructor podrá requerir del Director de Obra, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

2.2.9. RECLAMACIONES CONTRA LAS ÓRDENES DE LA DIRECCIÓN FACULTATIVA

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes o instrucciones dimanadas de la Dirección Facultativa, solo podrá presentarlas, a través del Director de Obra, ante la Propiedad, si son de orden económico. Contra disposiciones de orden técnico del Director de Obra, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al Director de Obra, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

2.2.10. RECUSACIÓN POR EL CONTRATISTA DEL PERSONAL NOMBRADO POR EL DIRECTOR DE OBRA

El Constructor no podrá recusar al Director de Obras, o personal encargado por éste de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Cuando se crea perjudicado por la labor de estos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente, pero sin que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

2.2.11. FALTAS DEL PERSONAL

El Director de Obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, podrá requerir al Contratista para que aparte de la obra a los dependientes u operario causantes de la perturbación.

El Contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso, a lo estipulado en el Pliego de Condiciones y sin perjuicio de sus obligaciones como Contratista general de la obra.

2.3. PRESCRIPCIONES GENERALES RELATIVAS A LOS TRABAJOS, A LOS MATERIALES Y A LOS MEDIOS AUXILIARES

2.3.2. CAMINOS Y ACCESOS

El Constructor dispondrá por su cuenta los accesos a la obra y el cerramiento o vallado de ésta, pudiendo el Director de Obra exigir su modificación o mejora.

2.3.3. REPLANTEO

El Constructor iniciará las obras con el replanteo de las mismas en el terreno, señalando las referencias principales que mantendrá como base de ulteriores replanteos parciales. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluido en su oferta.

El Constructor someterá el replanteo a la aprobación del Director de Obra y una vez este haya dado su conformidad preparará un acta acompañada de un plano que deberá ser aprobada por el Director de Obra, siendo responsabilidad del Constructor la omisión de este trámite.

2.3.4. COMIENZO DE LA OBRA RITMO DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado, desarrollándolas en la forma necesaria para la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato.

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Director de Obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

2.3.5. ORDEN DE LOS TRABAJOS

En general, la determinación del orden de los trabajos es facultad de la contrata, salvo aquellos casos en que, por circunstancias de orden técnico, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

2.3.6. FACILIDADES PARA LOS CONTRATISTAS

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista General deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a todos los demás Contratistas que intervengan en la obra. Ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar entre Contratistas por utilización de medios auxiliares o suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio, ambos Contratistas estarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

2.3.7. AMPLIACIÓN DEL PROYECTO POR CAUSAS IMPREVISTAS

Cuando sea preciso, por motivo imprevisto o por cualquier accidente, ampliar el Proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones dadas por el Director de Obra en tanto se formula o se tramita el Proyecto Reformado.

El Constructor está obligado a realizar con su personal y sus materiales cuanto la Dirección de las obras disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

2.3.8. PRÓRROGA POR CAUSA DE FUERZA MAYOR

Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del Constructor, éste no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del Director de Obra. Para ello, el Constructor expondrá, en escrito dirigido al Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por

ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

2.3.9. RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCIÓN DE FACULTATIVA EN EL RETRASO DE LA OBRA

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.

2.3.10. CONDICIONES GENERALES DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entreguen el Director de Obra al Constructor, dentro de las limitaciones presupuestarias y de conformidad con lo especificado en apartados precedentes.

2.3.11. OBRAS OCULTAS

De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación de la instalación, se levantarán los planos precisos para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por duplicado, entregándose: uno, al Director de Obra y otro al Contratista, firmados ambos por los dos. Dichos planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

2.3.12. TRABAJOS DEFECTUOSOS

El Constructor debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en el presente Pliego de Condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la instalación, es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que le exonere de responsabilidad el control que compete al Director de Obra, 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.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de Obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen 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 o retiradas y reconstruidas o reinstaladas, según el caso, de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata.

2.3.13. VICIOS OCULTOS

Si el Director de Obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo, y antes de la recepción definitiva, los ensayos, destructivos o no, que crea necesarios para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos que se ocasionen serán de cuenta del Constructor, siempre que los vicios existan realmente, en caso contrario serán a cargo de la Propiedad.

2.3.14. PROCEDENCIA DE LOS APARATOS Y MATERIALES

El Constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el Pliego Particular de Condiciones preceptúe una procedencia determinada.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo o acopio, el Constructor deberá presentar al Director de Obra una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

2.3.15. PRESENTACIÓN DE MUESTRAS

A petición del Director de Obra, el Constructor le presentará las muestras de los materiales siempre con la antelación prevista en el Calendario de la Obra.

2.3.16. MATERIALES NO UTILIZABLES

El Constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el Director de Obra, pero acordando previamente con el Constructor su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

2.3.17. MATERIALES Y APARATOS DEFECTUOSOS

Cuando los materiales, elementos de instalaciones o aparatos no fuesen de la calidad prescrita en este Pliego, o no tuvieran la preparación en él exigida o, en fin, cuando la falta de prescripciones formales de aquél, se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el Director de Obra, dará orden al Constructor de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o llenen el objeto a que se destinen.

Si a los quince días de recibir el Constructor orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, no ha sido cumplida, podrá hacerlo la Propiedad cargando los gastos a la contrata.

Si los materiales, elementos de instalaciones o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de Obra, se recibirán pero con la rebaja del precio que aquél determine, a no ser que el Constructor prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

2.3.18. GASTOS POR PRUEBAS Y ENSAYOS

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras, serán de cuenta de la contrata.

Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las suficientes garantías podrá comenzarse de nuevo a cargo del mismo.

2.3.19. LIMPIEZA DE LAS OBRAS

Es obligación del Constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de materiales sobrantes, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca buen aspecto.

2.3.20. OBRAS SIN PRESCRIPCIONES

En la ejecución de trabajos que entran en la construcción de las obras y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en este Pliego ni en la restante documentación del Proyecto, el Constructor se atenderá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección

Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas de la buena construcción o recomendaciones de los fabricantes, de ser el caso.

2.4. RECEPCIONES DE INSTALACIONES Y OBRAS ANEJAS

2.4.2. RECEPCIONES PROVISIONALES

El Director de Obra comunicará a la Propiedad la proximidad de la terminación de las obras, con la suficiente antelación, a fin de convenir la fecha para el acto de recepción provisional.

Ésta se realizará con la intervención de la Propiedad, del Constructor, del Director de Obra y se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicadas las pertinentes pruebas y tras un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los Técnicos de la Dirección Facultativa extenderán el correspondiente Certificado de final de obra. Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se darán al Constructor las oportunas instrucciones para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el Constructor no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato con pérdida de la fianza.

2.4.3. DOCUMENTACIÓN FINAL DE LA OBRA

El Director de Obra Director facilitará a la Propiedad la documentación final de las obras, con las especificaciones y contenidos dispuestos por la legislación vigente.

2.4.4. MEDICIÓN DEFINITIVA DE LOS TRABAJOS Y LIQUIDACIÓN PROVISIONAL DE LA OBRA

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de Obra a su medición definitiva, con precisa asistencia del Constructor o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por duplicado que, aprobada por el Director de Obra con su firma, servirá para el abono por la Propiedad del saldo resultante salvo la cantidad retenida en concepto de fianza.

2.4.5. PLAZO DE GARANTÍA

El plazo de garantía podrá estipularse en el contrato, no siendo en ningún caso inferior a nueve meses.

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo del Contratista.

2.4.6. RECEPCIÓN DEFINITIVA

La recepción definitiva se verificará después de transcurrido el plazo de garantía en igual forma y con las mismas formalidades que la provisional, a partir de cuya fecha cesará la obligación del Constructor de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de los edificios y quedarán solo subsistentes todas responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la instalación.

2.4.7. PRORROGA DE PLAZO DE GARANTÍA

Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Director de Obra marcará al Constructor los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con pérdida de la fianza.

2.4.8. RECEPCIÓN DE TRABAJOS CUYA CONTRATA HAYA SIDO RESCINDIDA

En el caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo que se fije, la maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa.

Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos. Transcurrido el plazo de garantía se recibirán definitivamente según lo dispuesto.

Para las obras y trabajos no terminados pero aceptables a juicio del Director de Obra se efectuará una sola y definitiva recepción.

PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

CAPÍTULO 3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

3.1. FIANZAS

El contratista prestará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos según se estipule:

1. Depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe entre el 3 por 100 y 10 por 100 del precio total de contrata.
2. Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

3.1.1. FIANZA PROVISIONAL

En el caso de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de ordinario, y salvo estipulación distinta en el Pliego de Condiciones vigente en la obra, de un 3 por 100 como mínimo, del total del presupuesto de contrata.

El Contratista a quien se haya adjudicado la ejecución de una obra o servicio para la misma, deberá depositar en el punto y plazo fijados en el anuncio de la subasta la fianza definitiva que se señale y, en su defecto, su importe será el 10 por 100 de la cantidad por la que se haga la adjudicación de las formas especificadas en el apartado anterior.

El plazo señalado en el párrafo anterior, y salvo condición expresa establecida en el presente pliego, no excederá de treinta días naturales a partir de la fecha en que se le comunique la adjudicación, y dentro de él deberá presentar el adjudicatario la carta de pago o recibo que acredite la constitución de la fianza a que se refiere el mismo párrafo.

La falta de cumplimiento de este requisito dará lugar a que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiese hecho para tomar parte en la subasta.

3.1.2. EJECUCIÓN DE TRABAJOS CON CARGO A LA FIANZA

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas el Director de Obra, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

3.1.3. DEVOLUCIÓN

La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 30 días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La Propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos.

Si la Propiedad, con la conformidad de la Dirección Facultativa, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

3.2. MEDICIÓN Y VALORACIÓN

3.2.1. COMPOSICIÓN DE LOS PRECIOS UNITARIOS

El precio de cada unidad de obra afecta a obra civil y/o instalación, equipo, máquina, etc., abarca:

- Todos los gastos de extracción, aprovisionamiento, transporte, montaje, pruebas en vacío y carga, muestras, ensayos, control de calidad, acabado de materiales, equipos y obras necesarios, así como las ayudas de cualquier otra índole que sean precisas.
- Todos los gastos a que dé lugar el personal que directa o indirectamente intervengan en su ejecución y todos los gastos relativos a medios auxiliares, ayudas, seguros, gastos generales, gravámenes fiscales o de otra clase e indemnizaciones o abonos por cualquier concepto, entendiendo que la unidad de obra quedará total y perfectamente terminada y con la calidad que se exige en el proyecto, y que, en todo caso, tiene el carácter de mínima.

3.2.2. MEDICIÓN Y VALORACIÓN DE LAS OBRAS

La medición de las obras se hará por el tipo de unidad fijada en el presupuesto del proyecto.

La valoración se realizará aplicando a las distintas unidades de obra el precio asignado en el presupuesto. A esta cantidad se añadirá el importe correspondiente a imprevistos, si los hubiera. Aquellas unidades de obra que no resulten de abono independiente por estar incluidas en otras partidas globales del presupuesto, serán abonadas en la partida correspondiente.

Los equipos, maquinaria y otros incluidos como partidas en el presupuesto se medirán como unidades únicas y se abonarán a los precios del presupuesto.

3.2.3. MEDICIONES PARCIALES Y FINALES

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, levantándose acta seguidamente por duplicado, que será firmada por ambas partes.

La medición final se realizará una vez finalizadas las obras en presencia del Contratista. En el acta que se extienda al respecto, y documentos que la acompañen, deberá hacerse patente la conformidad del Contratista o su representación legal. Caso de no existir tal conformidad lo expondrá sumariamente el Contratista, y a reserva de ampliar las razones de su no conformidad.

3.2.4. ERRORES EN EL PRESUPUESTO

Se supone que el Contratista realiza un completo estudio y revisión del proyecto; por ello, de no haber realizado ninguna observación en cuanto a mediciones o precios, se presupone su completa aceptación de los mismos.

Atendiendo a lo anteriormente expuesto, si la ejecución de la obra proyectada contuviese mayor número de unidades que las especificadas, no tendrá derecho el Contratista a reclamación alguna. Por el contrario, si el número de unidades resultante fuese inferior al previsto, tal diferencia será descontada del presupuesto.

En casos excepcionales en que los precios dictaminados por la propiedad y el Contratista resultasen contradictorios, deberán ser fijados por la Dirección Facultativa.

3.2.5. VALORACIÓN DE UNIDADES NO ESPECIFICADAS

La valoración de unidades de obra no especificadas en el presupuesto se realizará de acuerdo entre las partes contratada y contratante, aceptando ambas, en cualquier caso, el arbitraje de la Dirección Facultativa.

3.2.6. RELACIONES VALORADAS Y CERTIFICACIONES

La Dirección Facultativa realizará una relación valorada de los trabajos ejecutados, con sujeción a los precios del presupuesto.

El Contratista podrá presenciar la mediciones necesarias para extender dichas relaciones valoradas y se le facilitarán los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que dentro del plazo de diez (10) días a partir de su fecha de recibo, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad o hacer en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas. Dentro de los diez días siguientes a su

recibo, el Director Facultativo aceptará o rechazará las reclamaciones, dando cuenta al mismo de su resolución.

Tomando como base la relación valorada el Director Facultativo expedirá la certificación de las obras ejecutadas. De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

Estas relaciones valoradas, por lo que a la Propiedad y Dirección Facultativa se refiere, sólo tendrán carácter provisional, no entrañando aceptación definitiva ni aprobación absoluta.

3.2.7. OBRAS SIN PRECIO POR UNIDAD

Las obras sin precio por unidad se abonarán a los precios de las diferentes unidades que las componen, salvo que formen parte de una unidad de obra superior, lo que ocurrirá salvo criterio en contra de la Dirección de Obra en todo lo no especificado en presupuesto.

3.3. ABONO DE LAS OBRAS

3.3.1. LIQUIDACIONES PARCIALES

Las liquidaciones parciales tendrán carácter provisional y estarán sujetas a las certificaciones y valoraciones que resulten de la valoración final. Éstas no suponen en ningún caso la aceptación o recepción de las obras.

La Propiedad se reserva el derecho, al hacer las liquidaciones, de comprobar si el Contratista ha saldado los compromisos de pago de jornales y materiales, siendo obligada la presentación por parte de aquel de los justificantes correspondientes.

3.3.2. LIQUIDACIÓN FINAL

Una vez finalizadas las obras se procederá a realizar la liquidación final, que incluirá el importe de todas las unidades de obra realizadas, incluidas aquellas que constituyan alteraciones del proyecto, según lo estipulado en el presente Pliego de Condiciones.

3.3.3. LIQUIDACIÓN EN CASO DE RESCISIÓN

En todos los casos en que la rescisión del contrato sea motivada por incumplimiento del Contratista, se abonarán a éste todas las obras ejecutadas de acuerdo a las condiciones expuestas en el presente

pliego, todos los materiales a pie de obra, y las cantidades proporcionales correspondientes a unidades de obra en curso de ejecución y que reúnan las condiciones prescritas.

Si el saldo de la liquidación resultase negativo, responderá en primer término la fianza y en segundo la maquinaria y medios auxiliares propiedad del Contratista, quien en todo caso se comprometerá a saldar la diferencia, si existe. La Propiedad podrá reservarse, en dicho caso, un 15% sobre los abonos totales a realizar en concepto de indemnización por daños y perjuicios.

Las herramientas y medios auxiliares que estén siendo utilizados en la obra en el momento de la rescisión podrán quedar en la misma a conveniencia y decisión de la Propiedad, debiendo abonarse al Contratista una cantidad fijada de común acuerdo, sometiéndose al arbitrio de la Dirección Técnica caso de no existir éste. Si se estimase no oportuno el conservar dichos medios tendrá obligación el Contratista a su retirada inmediata.

3.3.4. ABONO DE OBRAS DEFECTUOSAS PERO ACEPTABLES

Si alguna obra no se ha ejecutado con arreglo a las condiciones del contrato y fuese, sin embargo admisible a juicio de la Propiedad, podrá ser recibida provisionalmente y definitivamente en su caso, pero el Contratista queda obligado a conformarse sin derecho a reclamación de ningún género con la rebaja que la Propiedad apruebe, salvo el caso en que estando dentro del plazo de ejecución, prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

3.4. OTRAS CONDICIONES

3.4.1. MEJORAS Y AUMENTO DE OBRAS

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en el que el Director Facultativo haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones de proyecto a menos que el Director Facultativo ordene, también por escrito la ampliación de las contratadas. En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o aparatos ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento cuando se introduzcan innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra.

3.4.2. SEGURO DE LAS OBRAS

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuenta a nombre del Propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecho en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada. La infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda resolver el contrato con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero solo en proporción equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero solo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por la Dirección Facultativa.

En las obras de reforma o reparación se fijarán previamente la proporción de obra que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte de la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de Seguros los pondrá el Contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del Propietario al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

3.4.3. INDEMNIZACIONES MUTUAS

Importe de la indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un tanto por mil (o/oo) del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el calendario de obra. Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

Si el propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas dentro del mes siguiente al que corresponde el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un 4,5 por 100 anual en concepto de intereses de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y

sobre el importe de la mencionada certificación. Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente a las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que estos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

No obstante lo anteriormente expuesto, se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha en dicha solicitud, ha invertido en obra o en materiales acopiados admisibles la parte del presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

CAPÍTULO 4. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

4.1. INTRODUCCIÓN

La condición de proyecto conceptual que presenta el proyecto en el que se incluye el presente pliego de condiciones no permite estimar en gran medida las condiciones técnicas que ha de seguir dicho proyecto salvo en aquellos casos en los que los equipos se hayan descrito en la memoria del presente proyecto.

Se deja a elección de la ingeniería de detalle las partes de la instalación que no se hayan visto suficientemente descritas en el presente proyecto.

4.2. INSTALACIONES MECÁNICAS

4.2.1. GENERAL

Las presentaciones del Adjudicatario en esta especificación comprenden los siguientes conceptos:

- Suministro de todos los equipos, con aporte de material de fijación, juntas, ... y todos los accesorios necesarios para el correcto montaje y funcionamiento, incluso cuando no estén expresamente especificados. Además se incluyen los elementos necesarios para realizar los movimientos de los materiales.
- Pintado e identificado según la norma UNE 1063 de todos los tramos de las tuberías y de sus correspondientes accesorios.
- Pruebas de presión y estanqueidad.
- Revisión y puesta en servicio.
- Confección de los bocetos de detalle constructivos y de los montajes necesarios, que se ven sometidos a la aprobación de la Dirección de la Obra antes de su ejecución.
- Confección del proyecto *as built* de todos los tramos, incluyendo los trazados isométricos, plantas y detalle.
- Tramitación de los permisos necesarios, aportando la documentación oportuna.

Para la realización de la oferta el Adjudicatario tiene las siguientes obligaciones:

- Prever todo lo necesario para la ejecución de la instalación, incluso cuando no esté detallado.
- Valorar el grado de dificultad del montaje de las diferentes redes.

- Identificar *in situ* el lugar de la obra, con el objetivo considerar todo lo necesario para su desarrollo.
- Atenerse a las normas de Seguridad e Higiene en el trabajo establecidas, atendiendo en todo momento a las indicaciones establecidas por parte del Propietario.

4.2.2. MATERIALES

Las especificaciones de los materiales objeto de este Pliego de Condiciones son las que se indican a continuación, excepto indicación contraria en los planos.

4.2.2.1. ACCESORIOS

Los accesorios, codos, té, reducciones, ... se diseñan según norma DIN correspondiente, teniendo en cuenta las necesidades de trazado en cada caso.

Los grosores mínimos y materiales se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1 - Grosores mínimos y materiales de los accesorios

Grosor	Material
< 2 1/2"	Teflón
2 1/2" – 4"	2 mm metaloplástico
4" – 12"	3 mm metaloplástico
> 12"	4 mm metaloplástico

4.2.2.2. SOPORTES

En caso de que las condiciones lo permitan se pueden emplear soportes normalizados. En caso contrario, se construyen *in situ* utilizando perfiles angulares, mínimo 60-60-6mm o bien doble T de ala ancha.

Los tubos aéreos o en galerías soportantes como máximo cada 8 m para diámetros superiores a 4" de diámetro.

Son de redondo de acero al carbono con puntas roscadas según DIN 3570. Para diámetros superiores a 4" se usa platina de acero al carbono a la que se suelda espárrago de cavilla roscada para engancharlo al soporte según DIN 1593.

4.2.2.3. RECIPIENTES A PRESIÓN

Los recipientes a presión tienen que cumplir el Reglamentación de Aparatos a Presión.

4.2.3. CONDICIONES DE EJECUCIÓN

4.2.3.1. TUBERÍAS Y ACCESORIOS

UNIONES

Las uniones de los tubos se realizan mediante soldadura a tope o a rosca cilíndrica según las especificaciones.

Los accesorios, codos, té, reducciones, ... se unen también por medio de soldadura a tope.

Las conexiones a las válvulas se realizan con bridas de cuello según se indica en las normas DIN.

Las uniones de montaje y desmontaje se hace también con bridas de cuello según se indica en las normas DIN.

El calentamiento del tubo no sirve como justificación de su aislamiento.

La longitud de los tubos suministrados es como mínimo de 8 m, la longitud media es inferior a los 9 m.

Los tubos se rechazan en los siguientes casos:

- Existan grietas.
- Existan rayas, corrosiones que puedan atacar a la resistencia mecánica del tubo.
- Existan asperezas o escamas internas visibles que no ataquen la resistencia mecánica del tubo pero susceptibles de serlo durante la explotación.
- Todos los accesorios se colocan de forma sea posible su desmontaje.
- Todos los accesorios tienen que tener fácil acceso para poder ajustarlos con facilidad.

INTERFERENCIAS DE TRAZADO

Con el objetivo de evitar el cruce de tubos de la misma altura, no se montan codos en vertical, excepto que la Dirección de la Obra lo indica expresamente.

Cuando existan más de un codo en un mismo tramo, se diseña y monta de forma que se eviten los puntos de acumulación de aire. Si la formación de puntos de acumulación de aire es inevitable, se instalan purgas automáticas.

CURVADO

Todos los tubos de diámetro inferior a 11/2" van dobladas al frío, respetando la sección circular a lo largo del desarrollo del curvado.

En caso de que los tubos tengas un diámetro superior a 11/2", van delante de curvas tipo N – 3D (DIN 2605).

Los tubos doblados tiene un ratio de curvatura constante en todos los puntos, estando exentos de dobladuras, deformaciones, variaciones de espesor,....

SOLDADURA

La soldadura de los tubos está prevista a tope, se está permitida la soldadura de solape. El material necesario para la soldadura de arco corre a cuenta del Adjudicatario. Para la ejecución de las soldaduras si fuese preciso, se exige la limpieza del tubo metálico por paso de una basura.

El juego entre los dos tubos debe ser tal que en la ejecución de la soldadura la fusión del metal de base afecte a todo el espesor de la pared. El acceso de la soldadura es liberado de toda traza de origen mineral u orgánico.

No se tolera ninguna gota de soldadura. La penetración de la soldadura es regular. El cordón de soldadura no puede llevar huecos o surcos laterales.

Los soldadores que intervienen en los trabajos deben presentar un certificado de homologación y cualificación otorgados por la autoridad competente.

El Adjudicatario tiene en dos ejemplares un cuaderno de soldadura en el que se realizan las siguientes indicaciones:

- Número de soldadura.
- Número de fabricación de tubos.
- Marcado de las soldaduras con relación a marcas bien determinadas.
- Indicativo de soldador que ejecuta la soldadura.
- Características de los electrodos empleados.
- Fecha de ejecución.
- Fecha de examen gammagráfico.
- Indicativo del controlador-

- Fecha y resultados de los ensayos gammagráficos.
- Longitudes exactas de los elementos tubulares derechos y acortados entre dos soldaduras.

PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD Y PRESIÓN

Al finalizar la instalación de una red de un fluido, se procede a su verificación. En primer lugar se realiza un examen visual. Se comprueba el apriete de los tornillos de las bridas, que estén todos los necesarios y que entre la brida y el tornillo haya una junta. Las uniones roscadas tienen que llevar junta de unión o cinta teflón. Se comprueba la posición de las válvulas de todo/nada según lo especificado.

Cuando se finalice y corrija, en caso de ser necesario, la comprobación anterior, se procede a la prueba de estanqueidad. Para ello se emplea agua a temperatura ambiente y a la presión de trabajo durante un periodo de veinticuatro horas.

Las pruebas a presión de los tubos se efectúan durante 60 minutos a 1,5 veces la presión normal de trabajo, para la cual el Adjudicatario debe prever los elementos necesarios.

Tanto las pruebas como las correcciones corren a cargo del Adjudicatario.

ACCIONES CORRECTIVAS

El Adjudicatario tiene la responsabilidad sobre los exámenes de soldadura o pruebas de estanqueidad que den un resultado positivo en defectos.

La reparación se efectúa bien por repetición local del defecto o bien por sustitución completa de la soldadura defectuosa.

La sustitución completa de la soldadura definitiva es efectuada por soldadura de un cordón, sustituyendo a la soldadura quitada.

Cada soldadura sustituida local o totalmente, se registra en el cuaderno de soldaduras según las especificaciones citadas en el apartado "Soldaduras".

4.2.3.2. SOPORTES Y ESTRUCTURAS

A continuación se establecen las condiciones técnicas requeridas para el suministro y montaje de los soportes para los tubos.

DISEÑO DE MATERIALES Y FABRICACIÓN

Los materiales se indican en los planos. Todos los materiales de chapa a emplear por el suministrador deben de estar avalados con certificados de calidad siderúrgica.

Los perfiles simplemente necesitan la marca de calidad impresa en el relevo de la laminación.

Todos los materiales de aporte de soldadura están avalados por sus certificados de calidad. El material es controlado durante los procesos de fabricación y reparación de elementos para comprobar que el material usado es el especificado.

Las tolerancias de los laminados se determinan según la norma UNE 36080.

UNIONES SOLDADAS

El instalador es totalmente responsable de que el trabajo cumpla las especificaciones requeridas. Los procedimientos de soldadura serán alguno de los siguientes:

- Arco manual con electrodo revestido.
- Semiautomática con protección de CO₂ o gas inerte con electrodo macizo.
- Automática de arco sumergido.

El instalador entrega para su aprobación los procedimientos de soldadura a emplear, en los que figura como mínimo:

- Preparación de bordes.
- Posición.
- Proceso empleado, especificando los parámetros.
- Secuencia de precalentamiento y método.
- Tratamiento térmico final , en caso de ser aplicado.

Las características mecánicas del metal depositado son como mínimo las indicadas para el material base.

Cualquier tipo de soldadura ha de realizarla un soldador homologado.

4.2.3.3. PINTURAS Y AISLAMIENTOS

TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Los tubos se limpian a base de chorreado de arena, grado Sa 21/2. Los tubos de acero al carbono se tratan según se indica a continuación:

- Limpieza: la superficie exterior se limpia por raspado, cepillado manual con cepillo de acero para dejar la superficie en un grado de acabado de St-2 de la norma SIS 055 – 900.

- Imprimación: inmediatamente después de la limpieza superficial, se le aplica una capa de imprimación de un espesor de mínimo 40 µm de película seca.
- Acabado: consiste en dos manos de pintura acrílica de un espesor de 35 µm de película seca en cada una. Cada mano tiene que ser de diferente color.

La señalización de los tubos cumple con la norma UNE 1063.

Los tubos enterrados son de hormigón o de arenas lavadas.

Los tubos enterrados en áreas lavadas se protegen previamente al chorreado según el grado Sa 2 1/2 " con una capa de imprimación de un espesor mínimo de 40 µm de película y doble encintado.

Para los tubos enterrados en hormigón únicamente se realiza un chorreado según el grado Sa 2 1/2".

En caso de que los tubos sean calorifugados se dispone de aislamientos. El acabado exterior será mediante envoltorio de chapa de aluminio de 0,8 mm de espesor debidamente curvado, soplado y fijado mediante tornillos.

SOPORTES

Para el tratamiento de los soportes se sigue el siguiente procedimiento:

- Limpieza: a base de chorreado de arena, grado Sa 2 1/2" .
- Imprimación anticorrosiva: con un espesor superior a 40 µm y con una capa de fondo al cloro caucho de alto espesor. 80 µm.
- Acabado: consiste en dos manos de pintura acrílica de un espesor de 50 µm de película seca en cada una. Cada mano tiene que ser de diferente color.

4.2.3.4. CONTROL DE CALIDAD, INSPECCIÓN Y OBRAS

REQUISITOS GENERALES

El Adjudicatario es responsable de la elaboración del Plan de Control de Calidad.

El Adjudicatario controla los documentos, procedimientos e informes relacionados con las calidades de los equipos. La propiedad y su representante tiene accesibilidad a estos documentos, procedimientos e informes cuando así lo requiera.

El Adjudicatario tiene la obligación de identificar, documentar y notificar a la Propiedad todos los incumplimientos de los requisitos de esta especificación.

PRUEBAS Y ENSAYOS EN TUBERÍAS

El Adjudicatario es responsable de todos los exámenes no destructivos y pruebas de tubos suministradas bajo esta especificación.

La Propiedad tiene la autoridad para detener el trabajo o retener el envío si los requisitos de la especificación, incluyendo aquellos referentes a la documentación, no fueron cumplidos.

Todos los exámenes no destructivos son realizados por personal cualificado.

Procedimientos de examen:

Examen radiográfico: de acuerdo con el código ASME sección V. Película radiografiada ha de ser ASTM E94 1 o 2.

Examen por líquidos penetrantes: no se permite el uso de líquidos penetrantes eliminables por agua.

Mediciones del espesor de la pared: cuatro mediciones del grosor de la pared mínimo. La aceptación se basa en la pared mínima especificada mas la tolerancia de la medición.

PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

Tras la instalación todos los conjuntos fabricados se someten a una prueba hidrostática de acuerdo con el código ASME.

El Adjudicatario es responsable de todas las pruebas realizadas.

Métodos de inspección:

- Inspección visual: Las soldaduras se inspeccionan de manera visual al 100%. La inspección revela si se cumplen los requisitos mínimos de calidad de estas especificaciones.
- Inspección radiográfica: procedimiento según el artículo 2º de la subsección A, sección V del código ASME y empleando la técnica radiográfica especificada en la ES – 94.
- Líquidos penetrantes: procedimiento según artículo 6º de la sección V del código ASME siguiendo las recomendaciones del fabricante de los penetrantes empleados en la inspección.
- Inspección con partículas magnéticas: procedimiento según el artículo 7º de la sección V del código ASME, empleando el método mas adecuado a la geometría de la pieza.

4.3. OBRA DE CIVIL

4.3.1. MATERIALES

4.3.1.1. HORMIGÓN

La composición elegida para la preparación de las mezclas destinadas a la construcción de elementos estructurales deberá estudiarse previamente, con el fin de asegurarse de que es capaz de proporcionar hormigones cuyas características mecánicas, reológicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Las características mecánicas de los hormigones empleados, así como los ensayos a realizar, serán las recogidas en la Instrucción de Hormigón Estructural "EHE".

La resistencia de proyecto f_{ck} no será inferior a 20 N/mm² en hormigones en masa, ni a 25 N/mm² en hormigones armados o pretensados. La docilidad del hormigón será la necesaria para que, con los métodos previstos de puesta en obra y compactación, el hormigón rodee las armaduras y rellene completamente los encofrados sin que se produzcan coqueras. La docilidad del hormigón se valorará determinando su consistencia; lo que se llevará a cabo por el procedimiento descrito en el método de ensayo UNE 83313:90

COMPONENTES

Se definen en este punto las propiedades de los componentes del hormigón a utilizar en los elementos definidos en este Proyecto. Dichos componentes son: Cemento, Agua, Áridos, Armaduras de acero, en caso armado, Aditivos, en su caso.

CEMENTO

Se entiende como tal, un aglomerante hidráulico que responda a alguna de las definiciones del pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos R.C. 97. Podrá almacenarse en sacos o a granel. En el primer caso, el almacén se protegerá contra la intemperie y la humedad, tanto del suelo como de las paredes. Si se almacenara 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 de modo satisfactorio 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 métodos de ensayo se realizarán en laboratorios homologados.

Podrán utilizarse aquellos cementos que cumplan la vigente Instrucción para la Recepción de cementos, correspondan a la clase resistente 32,5 o superior, y cumplan las limitaciones establecidas en la tabla 1. El cemento deberá ser capaz de proporcionar al hormigón las cualidades que al mismo se exijan en los diferentes elementos de la instalación.

Tabla 2 - Clasificación del hormigón y cemento

Tipo de hormigón	Tipo de cemento
Hormigón en masa	Cementos comunes
	Cementos para usos especiales
Hormigón armado	Cementos comunes
Hormigón pretensado	Cementos comunes de los tipos CEMI y CEM II/A-D

Los cementos comunes y los cementos para usos especiales se encuentran normalizados en la UNE 80301:96 y la UNE 80307:96, respectivamente.

AGUA

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente dañino en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión. En general, podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica. Salvo estudios especiales, se prohíbe expresamente el empleo de aguas de mar o aguas salinas análogas para el amasado o curado de hormigón armado o pretensado.

ÁRIDOS

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las restantes características que se exijan a éste.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, machacados u otros productos, cuyo empleo se encuentre sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en un laboratorio oficial.

Cuando no se tengan antecedentes sobre la utilización de los áridos disponibles, o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas de las ya sancionadas por la práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convengan en cada caso. Se prohíbe el empleo de áridos que contengan sulfuros oxidables.

Se entiende por “arena” o “árido fino”, el árido fracción del mismo, que pasa por un tamiz de 5 mm. de luz de malla; por “grava” o “árido grueso” el que resulta detenido por dicho tamiz; y por “árido total” (o simplemente “árido” cuando no hay lugar a confusiones) a aquel que, de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

Los áridos deben ser transportados y acopiados de manera que se evite su segregación y contaminación, debiendo mantener las características granulométricas de cada una de sus fracciones hasta su incorporación a la mezcla.

4.3.1.2. ARMADURAS DE ACERO

Para el armado del hormigón se emplearán armaduras pasivas.

Las armaduras pasivas para el hormigón serán de acero y estarán constituidas por:

- Barras corrugadas
- Mallas electrosoldadas
- Armaduras básicas electrosoldadas en celosía

Los diámetros nominales de las barras corrugadas se ajustarán a la siguiente serie:

6-8-10-12-14-16-20-25-32-40 mm

Los diámetros nominales de los alambres corrugados empleados en las mallas electrosoldadas se ajustarán a la serie siguiente:

5-5,5-6-6,5-7-7,5-8-8,5-9-9,5-10-10,5.12 y 14 mm

Los diámetros nominales de los alambres, lisos o corrugados, empleados en las armaduras básicas electrosoldadas en celosía se ajustarán a la serie siguiente:

5-6-7-8-9-10-12 mm

Las barras y alambres no presentarán defectos superficiales, grietas ni sopladuras.

La sección equivalente no será inferior al 95,5 % de su sección nominal. A los efectos de esta Instrucción, se considerará como límite elástico del acero, f_y , el valor de la tensión que produce una deformación remanente del 0,2 %.

Las barras corrugadas a emplear serán las que cumplen los requisitos técnicos establecidos en la UNE 36068:94, cumpliéndose unas características mecánicas mínimas garantizadas de las barras corrugadas.

A efectos de control será suficiente comprobar que el acero posee el certificado específico de adherencia y realizar una verificación geométrica para comprobar que los resaltos o corrugas de las barras (una vez enderezadas, si fuera preciso) están dentro de los límites que figuran en dicho certificado.

Llevarán grabadas las marcas de identificación establecidas en el Apartado 12 de la UNE 36068:94, relativas al tipo de acero (geometría del corrugado), país de origen (el indicativo correspondiente a España es el número 7) y marca del fabricante, (según el código indicado en el Informe Técnico UNE 36811:98).

Mallas electrosoldadas, serán aquellas que cumplen con los requisitos técnicos prescritos en la UNE 36092:96.

Cada paquete debe llegar al punto de suministro (obra, taller de ferralla o almacén) con una etiqueta de identificación conforme a lo especificado en la UNE 36092-1:96. Las barras o alambres que constituyen los elementos de las mallas electrosoldadas, deberán llevar grabadas las marcas de identificación, de acuerdo con los Informes Técnicos UNE 36811:98 y UNE 36812:96 para barras y alambres corrugados respectivamente.

Armaduras básicas electrosoldadas en celosía, son aquellas que cumplen los requisitos técnicos prescritos en la UNE 36739:95 EX.

La armadura básica electrosoldada en celosía es un producto formado por tres sistemas de elementos (barras o alambres), con una estructura espacial y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica por un proceso automático.

Se compone de un elemento longitudinal superior, dos elementos longitudinales inferiores y dos elementos transversales de conexión que forman la celosía. Todos los elementos están constituidos por barras o alambres que deben ser corrugados en el caso de los elementos superior e inferiores, y pueden ser lisos o corrugados en el caso de los elementos de conexión.

Los paquetes de armaduras deben llegar al punto de suministro (obra, taller de ferralla o almacén) identificados conforme a lo que se especifica en la UNE 36739:95 EX. Las barras o alambres que constituyen los elementos de las armaduras básicas electrosoldadas en celosía deberán llevar grabadas las marcas de identificación, de acuerdo con los Informes Técnicos UNE 36811:98 y UNE 36812:96 para barras y alambres corrugados, respectivamente.

4.3.1.3. ÁRIDOS DE RELLENO PARA ZANJAS

Los áridos utilizados en el relleno de zanjas se colocarán entre el terreno natural del fondo de la zanja y la conducción, o envolviendo ésta hasta media caña. El material granular para apoyo de conducciones no contendrá más del 0,3 % de sulfatos, expresados como trióxido de azufre.

4.3.2. CONDICIONES DE EJECUCIÓN DE LA OBRA CIVIL

4.3.2.1. EXCAVACIONES Y ZANJAS

El Contratista notificará al Director de Obra, con antelación suficiente, el comienzo de la excavación, a fin de que éste pueda efectuar las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado.

Previamente a la excavación, se procederá a serrar el pavimento existente, con el fin de mantener una junta limpia y recta entre el pavimento a retirar y el inalterado por la excavación.

Las excavaciones se ejecutarán hasta llegar a la profundidad señalada en Proyecto, y obtenerse una superficie firme y limpia a las rasantes indicadas en los mismos. El Director de Obra podrá modificar tal profundidad, en el caso de las cimentaciones, si lo estima necesario a fin de asegurar una buena consistencia en el terreno.

Se dispondrá la entibación correspondiente, si fuera necesario, para garantizar la estabilidad de la excavación, y se utilizarán los medios e instalaciones necesarios para un correcto drenaje de la misma.

Los fondos de los materiales se limpiarán de todo material suelto o flojo, y sus grietas y hendiduras, se rellenarán adecuadamente. Asimismo, se eliminarán todas las rocas sueltas o desintegradas y los estratos excesivamente delgados.

El material excavado no se podrá colocar de forma que represente un peligro para construcciones existentes, por presión directa o por sobrecarga de los rellenos contiguos.

Los productos resultantes de la excavación, se emplearán para el posterior relleno de la zanja, previa selección de los mismos de acuerdo con las instrucciones del Director de Obra.

El material sobrante se transportará a vertedero, salvo indicación en contra del Director de Obra.

La excavación de la explanación se abonará por metros cúbicos realmente excavados medidos por diferencia entre los datos iniciales tomados inmediatamente antes de iniciar los trabajos y los datos finales, tomados inmediatamente después de concluidos. La medición se hará sobre los perfiles obtenidos.

4.3.2.2. EJECUCIÓN DE OBRAS CON HORMIGÓN ENCOFRADOS Y MOLDES

Los encofrados y moldes, así como las uniones de sus distintos elementos, poseerán una resistencia y rigidez suficientes para garantizar el cumplimiento de las tolerancias dimensionales y para resistir, sin asientos ni deformaciones perjudiciales, las acciones de cualquier naturaleza que puedan producirse sobre ellos como consecuencia del proceso de hormigonado y, especialmente, bajo las presiones del hormigón fresco o los efectos del método de compactación utilizado. Dichas condiciones deberán mantenerse hasta que el hormigón haya adquirido la resistencia suficiente para soportar, con un margen de seguridad adecuado, las tensiones a que será sometido durante el desencofrado o desmoldeo.

Estos elementos se dispondrán de manera que se eviten daños en estructuras ya construidas.

Se prohíbe expresamente el empleo de aluminio en moldes que hayan de estar en contacto con el hormigón.

El empleo de productos para facilitar el desencofrado o desmoldeo de las piezas deberá ser expresamente autorizado, en cada caso, por el Director de Obra. Dichos productos no deberán dejar rastros ni tener efectos dañinos sobre la superficie del hormigón, ni deslizar por las superficies verticales o inclinadas de los moldes o encofrados.

Los productos desencofrantes o desmoldeantes aprobados se aplicarán en capas continuas y uniformes sobre la superficie interna del encofrado o molde, colocándose el hormigón durante el tiempo en que estos productos sean efectivos. Se evitará el uso de gasóleo, grasa corriente o cualquier otro producto análogo pudiéndose utilizar para estos fines barnices antiadherentes compuestos de siliconas, o preparados a base de aceites solubles en agua o grasa diluida.

ELABORACIÓN DE FERRALLA Y COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS PASIVAS

Para la elaboración de la ferralla y colocación de las armaduras pasivas, se seguirán las indicaciones contenidas en la UNE 36831:97.

Las armaduras pasivas se colocarán exentas de pintura, grasa o cualquier otra sustancia nociva que pueda afectar negativamente al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos. Se dispondrán de acuerdo con las indicaciones del proyecto, sujetas entre sí de manera que no varíe su posición especificada durante el transporte, montaje y hormigonado, y permitan al hormigón envolverlas sin dejar coqueras.

En el caso de que la armadura pasiva presente un nivel de oxidación excesivo que pueda afectar a sus condiciones de adherencia, se comprobará que éstas no se han visto significativamente alteradas. Para ello, se procederá a su cepillado mediante cepillo de púas de alambre y se

comprobará que la pérdida de peso de la armadura no excede del 1% y que la altura de corruga, en el caso de acero corrugado, se encuentra dentro de los límites aceptables.

Las armaduras se asegurarán en el interior de los encofrados o moldes contra todo tipo de desplazamiento, comprobándose su posición antes de proceder al hormigonado.

Los empalmes entre barras deben diseñarse de manera que la transmisión de fuerzas de una barra a la siguiente quede asegurada, sin que se produzcan desconchados o cualquier otro tipo de daño en el hormigón próximo a la zona de empalme.

No se dispondrán más que aquellos empalmes indicados en los planos y los que autorice el Director de Obra. Se procurará que los empalmes queden alejados de las zonas en las que la armadura trabaje a su máxima carga. Los empalmes podrán realizarse por solape o por soldadura. Se admiten también otros tipos de empalme, con tal de que los ensayos con ellos efectuados demuestren que esas uniones poseen permanentemente una resistencia a la rotura no inferior a la de la menor de las 2 barras empalmadas, y que el deslizamiento relativo de las armaduras empalmadas no rebase 0,1 mm, para cargas de servicio.

DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Se dosificará el hormigón con arreglo a los métodos que se consideren oportunos respetando siempre las limitaciones normativas de:

- Cantidad mínima de cemento por metro cúbico de hormigón.
- La cantidad máxima de cemento por metro cúbico de hormigón.

Corresponde al Contratista efectuar el estudio granulométrico de los áridos, dosificación de agua y consistencia del hormigón de acuerdo con los medios y puesta en obra que emplee en cada caso, y siempre cumpliendo lo prescrito en la EHE.

PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN

En ningún caso se tolerará la colocación en obra de masas que acusen un principio de fraguado.

En el vertido y colocación de las masas, incluso cuando estas operaciones se realicen de un modo continuo mediante conducciones apropiadas, se adoptarán las debidas precauciones para evitar la disgregación de la mezcla.

No se colocarán en obra capas o tongadas de hormigón cuyo espesor sea superior al que permita una compactación completa de la masa.

No se efectuará el hormigonado en tanto no se obtenga la conformidad de la Dirección de Obra, una vez que se hayan revisado las armaduras ya colocadas en su posición definitiva.

El hormigonado de cada elemento se realizará de acuerdo con un plan previamente establecido en el que deberán tenerse en cuenta las deformaciones previsibles de encofrados y cimbras.

La compactación de los hormigones en obra se realizará mediante procedimientos adecuados a la consistencia de las mezclas y de manera tal que se eliminen los huecos y se obtenga un perfecto cerrado de la masa, sin que llegue a producirse segregación. El proceso de compactación deberá prolongarse hasta que refluya la pasta a la superficie y deje de salir aire.

Cuando se utilicen vibradores de superficie el espesor de la capa después de compactada no será mayor de 20 centímetros.

La utilización de vibradores de molde o encofrado deberá ser objeto de estudio, de forma que la vibración se transmita a través del encofrado sea la adecuada para producir una correcta compactación, evitando la formación de huecos y capas de menor resistencia.

Si el transporte, la colocación o la compactación de los hormigones se realizan empleando técnicas especiales, se procederá con arreglo a las normas de buena práctica propias de dichas técnicas.

Se prohíbe hormigonar directamente sobre o contra superficies de hormigón que hayan sufrido los efectos de las heladas. En este caso deberán eliminarse previamente las partes dañadas por el hielo.

Durante el fraguado y primer período de endurecimiento del hormigón, deberá asegurarse el mantenimiento de la humedad del mismo mediante un adecuado curado.

Éste se prolongará durante el plazo necesario en función del tipo y clase del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente, etc.

El curado podrá realizarse manteniendo húmedas las superficies de los elementos de hormigón, mediante riego directo que no produzca deslavado. El agua empleada en estas operaciones deberá poseer las cualidades adecuadas.

El curado por aportación de humedad podrá sustituirse por la protección de las superficies mediante recubrimientos plásticos u otros tratamientos adecuados, siempre que tales métodos, especialmente en el caso de masas secas, ofrezcan las garantías que se estimen necesarias para lograr, durante el primer período de endurecimiento, la retención de la humedad inicial de la masa, y no contengan sustancias nocivas para el hormigón.

Si el curado se realiza empleando técnicas especiales (curado al vapor, por ejemplo) se procederá con arreglo a las normas de buena práctica propias de dichas técnicas, previa autorización de la Dirección de Obra.

Los distintos elementos que constituyen los moldes se retirarán sin producir sacudidas ni choques en la estructura.

Las operaciones anteriores no se realizarán hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar, con suficiente seguridad y sin deformaciones excesivas, los esfuerzos a los que va a estar sometido durante y después del desencofrado o desmoldeo.

Se tendrán también en cuenta las condiciones ambientales (por ejemplo, heladas) y la necesidad de adoptar medidas de protección una vez que el encofrado, o los moldes, hayan sido retirados.

Se pondrá especial atención en retirar oportunamente todo elemento de encofrado o molde que pueda impedir el libre juego de las juntas de retracción, asiento o dilatación.

Las superficies vistas de las piezas, una vez desencofradas, no presentarán coqueas o irregularidades que perjudiquen al comportamiento de la obra o a su aspecto exterior.

Cuando se requiera un particular grado o tipo de acabado por razones prácticas o estéticas, se especificarán los requisitos directamente o bien mediante patrones de superficie.

En general, para el recubrimiento o relleno de las cabezas de anclaje, orificios, entalladuras, cajetines, etc., que deba efectuarse una vez terminadas las piezas, se utilizarán morteros fabricados con masas análogas a las empleadas en el hormigonado de dichas piezas, pero retirando de ellas los áridos de tamaño superior a 4 mm. Todas las superficies de mortero se acabarán de forma adecuada.

Se adoptarán las medidas necesarias para conseguir que las disposiciones constructivas y los procesos de ejecución se ajusten en todo a lo indicado en el proyecto.

Todas las manipulaciones y situaciones provisionales y, en particular, el transporte, montaje y colocación de las piezas prefabricadas, deberán ser objeto de estudios previos. Será preciso también justificar que se han previsto todas las medidas necesarias para garantizar la seguridad, la precisión en la colocación y el mantenimiento correcto de las piezas en su posición definitiva, antes y durante la ejecución y, en su caso, durante el endurecimiento de las juntas construidas en obra.

Si el proceso constructivo sufre alguna modificación sustancial, deberá quedar reflejado el cambio en la correspondiente documentación complementaria.

Durante la ejecución se evitará la actuación de cualquier carga estática o dinámica que pueda provocar daños en los elementos ya hormigonados.

ALBAÑILERÍA

Los ladrillos serán de primera calidad. Sus dimensiones se ajustarán a la Norma UNE 7267. La resistencia a compresión de los ladrillos será como mínimo de 50 Kg/cm² para ladrillos huecos y de 100 Kg/cm² para ladrillos macizos y perforados. La medición se hará por m². Se medirán las unidades realmente ejecutadas descontándose los huecos.

Antes de colocar los ladrillos se humedecerán en agua. El humedecimiento deberá ser realizado inmediatamente antes de su empleo, debiendo estar sumergidos en agua 10 minutos al menos. Salvo especificaciones en contrario, el tendel debe tener un espesor de 10 mm. Todas las hiladas deben quedar perfectamente horizontales y con la cara buena perfectamente plana, vertical y a plano con los demás elementos que deba coincidir. Para ello se hará uso de las miras necesarias, colocando la cuerda en las divisiones o marcas hechas en las miras. Salvo indicación en contra se empleará un mortero de 250 Kg de cemento por m³ de pasta. Los enfoscados se harán con 500 Kg de cemento por m³ de pasta en paramentos interiores, empleándose arena de río o de barranco, lavada para su confección.

Antes de extender el mortero se prepara el paramento sobre el cual haya de aplicarse. En todos los casos se limpiarán bien de polvo los paramentos y se lavarán, debiendo estar húmeda la superficie de la fábrica antes de extender el mortero. La fábrica debe estar en su interior perfectamente seca. Las superficies de hormigón se picarán, regándolas antes de proceder al enfoscado.

Preparada así la superficie, se aplicará con fuerza el mortero sobre una parte del paramento por medio de la llana, evitando echar una porción de mortero sobre otra ya aplicada. Así, se extenderá una capa que se irá regularizando al mismo tiempo que se coloca, para lo cual se recogerá con el canto de la llana el mortero. Sobre el revestimiento blando todavía se volverá a extender una segunda capa, continuando así hasta que la parte sobre la que se haya operado tenga conveniente homogeneidad. Al emprender la nueva operación habrá fraguado la parte aplicada anteriormente.

OTRAS OBRAS

Se realizarán conforme las prescripciones descritas en la memoria y cumpliendo con la normativa vigente.

4.4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

4.4.1. OBJETO

El Adjudicatario es responsable de:

- Descarga, montaje, nivelación, ensamblaje y hacer las conexiones del armario de distribución de baja tensión (B.T.) para servicios y cargas de baterías.
- Prestación de la descarga, tendido, conexiones de los cables de B.T. de fuerza, cables de mando y control y cables de instrumentación.

- Suministro e instalación de los equipos de alumbrado y tomas de corriente para la planta de equipos, control exteriores y vías circundantes.
- Suministro e instalación de la red de tierra en la planta.
- Suministro e instalación de bandejas y tubos necesarios para el tendido de los cables.

4.4.2. DISEÑO DE EQUIPOS Y MATERIALES

A continuación se indican los requisitos y condiciones que deben cumplir los equipos y materiales suministrados por el Adjudicatario.

4.4.2.1. CABLES

Los cables de baja tensión son de 0,6/1 kV, el material del conductor puede ser cobre o aluminio. El aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de PVC. Los cables tienen que cumplir con el siguiente código de colores:

- Fase R: Negro
- Fase S: Negro
- Fase T: Marrón
- Neutro: Azul claro
- Conductor de protección (PL): Amarillo o verde

Los cables de control e instrumentación, multiconductores y de pares, deben ser conductores clase 5 numerados. Tienen una tensión de 750 V de cobre y aislamiento de PVC.

El fabricante de cualquier tipo de cable es Pirelli, Saenger o similar.

4.4.2.2. CAJAS DE DERIVACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Aisladas con PVC con grado de protección IP55. Equipadas con bornes especificados y de fabricación Weidmuller o similar.

Los conductores de reserva de los cables a conectar cuentan con sus bornes de conexión en las cajas.

Las cajas se identifican con una placa de plástico o baquelita de color negro, pegado en el lateral más visible. Todas identificadas según indica la norma.

4.4.2.3. PRENSAESTOPAS

Los prensaestopas son de latón con cadmio o PVC de doble cierre, NPT, GAS o PO según se requiera.

4.4.2.4. MATERIAL DE PUESTA A TIERRA

Se efectúa dos puestas a tierra distintas, separadas de forma que la distancia entre los puntos enterrados sea superior a 15 cm.

Para la puesta a tierra para el neutro, se construye un pozo de profundidad igual o superior a 20 m, en el que se introduce un electrodo formado por secciones de tubo de cobre de 28 mm de diámetro y 1,5 mm de espesor unidos mediante manguitos soldados. Los huecos entre el tubo y el terreno se rellenan con betonita cálcica. A estos electrodos se conecta, mediante soldadura aluminotécnica, un conductor aislado de cobre V – 750 de 50 mm² de sección.

Para la puesta a tierra de protecciones se efectúa un pozo de puesta a tierra de las mismas características que la puesta a tierra para el neutro. El electrodo se conecta en este caso a un cable de 50 mm² de sección, el cual da a tierra los distintos anillos de puesta a tierra. La puesta a tierra se distribuye a los cuadros de baja tensión.

4.4.2.5. SOPORTES

El adjudicatario suministra el material y fabrica todo tipo de soportes que se requieran para efectuar la fijación de los componentes y elementos de la instalación.

Se deben suministrar todos los materiales que se necesiten para su fabricación.

Se suministra con tratamiento superficial galvanizado en caliente para evitar la oxidación, teniendo en cuenta que las partes cortadas y los soportes han de ser tratados de forma inmediata y recubiertas para evitar la corrosión.

Se admite un tratamiento superficial por chorreo de arena, procediendo a continuación la aplicación de dos capas de imprimación acrílica al cromato de cinc y dos capas de pintura de acabado final.

4.4.3. CALIDAD DE EJECUCIÓN

4.4.3.1. CUADRO DE BAJA TENSIÓN

El Adjudicatario se responsabiliza de las tareas de instalación, ensamblaje, y suministro de los paneles. Además del ensamblaje eléctrico y mecánico respetando las tolerancias especificadas. Le corresponde también el suministro y tendido de los cables e interconexión entre los mismo.

Debe limpiarse todo el interior y proceder a los retoques de pintura necesarios. Se chequean todos los tornillos de conexión.

Las conexiones de potencia y mando se realizan fijando el cable al interior del cuadro dejando el bucle o lira en cada hilo de forma que los bornes o terminales de conexión no puedan ser sometidos a esfuerzos por el conductor.

Todos los conductores de potencia deben conservar el mismo orden de conexión fase e identificación del conductor:

Los conductores de mando llevan la indicación del número de cable de cada hilo, el número de borne auxiliar donde está conectado, el número de borne de procedencia y la referencia de la regleta de los bornes.

Los conductores de interconexión llevan la referencia y el número del borne al que está conectado.

Las regletas terminales tienen que estar montadas en lugar de fácil accesibilidad, con suficiente espacio para la inspección, mantenimiento y conexión de cables.

Las pantallas de cables se instalan mediante macarrón hasta los puntos de conexión en las regletas de los bornes correspondientes.

4.4.3.2. CABLES

Los radios de curvatura de los cables siempre son superiores a diez veces su diámetro, con ellos se evitan las tensiones.

El tendido se coloca sobre bandeja o directamente. Se agrupan por tensión a efectos de evitar perturbaciones resultantes de la inducción.

La instalación de los cables sobre bandeja se fijan a ella por medio de una cuerda de poliéster o bridas de poliamida, marca UNEX o similar.

Se respetan el siguiente criterio de agrupación en distintas bandejas:

- Cables de fuerza y mando de baja tensión.
- Cables de media oficial (bajo tubo).
- Cables de control (señales digitales).

Para evitar los daños mecánicos se protegen los cables entre el suelo y 2,5 m sobre él. No se tienden más de dos capas de cables en las bandejas dispuestas horizontalmente. En caso de ser vertical sólo se instala una capa.

4.4.3.3. RED DE PUESTA A TIERRA Y PARARRAYOS

Con el objetivo de conseguir una elevada eficacia en la puesta a tierra de los equipos mecánicos, masas y estructuras de la instalación.

Los electrodos químicos se instalan según las indicaciones del fabricante.

Los embarrados de tierra se fijan a las paredes o estructuras, empleando en caso de fijación a la estructura metálica, dispositivos que aíslen eléctricamente el embarrado de la estructura que lo soporta. Se instalan de forma que sean accesibles, sin interferir en otros elementos del sistema.

El Adjudicatario es el encargado de los ensayos del sistema de puesta a tierra con el fin de determinar la continuidad de los cables y conexiones. Además se responsabiliza de medir la resistencia a tierra de cada uno de los electrodos antes de ser conectados al sistema.

Los sistemas portables metálicos se conectan a tierra en el inicio de los recorridos. Las pantallas de cables de señal se conectan a tierra independientemente.

Todas las partes metálicas asociadas con equipos eléctricos que contengan partes en tensión, se conectan directamente al sistema de puesta a tierra de protección.

Tras la instalación el Adjudicatario verifica que la tensión de paso y la de contacto en los diversos puntos de la planta sean los tolerables. En caso de que se supere el valor, se añaden elementos de malla hasta conseguir las tensiones inferiores a los límites tolerables.

Las estructuras metálicas que están juntas pero no soldadas o atornilladas entre sí, se conectan mediante puentes que garanticen la continuidad eléctrica del conjunto. El Adjudicatario verifica el correcto apriete de los tornillos.

La distancia mínima entre electrodos de un mismo sistema de puesta a tierra es de tres metros. La conexión del electrodo a tierra se realiza mediante grampa o abrazadera atornillada con el fin de que en cualquier momento se pueda comprobar la resistencia a tierra del electrodo, independientemente de la red.

El acceso a los extremos de los electrodos en lo que se realiza la conexión al cable de tierra tiene que ser fácil para la inspección y verificación periódica, por lo que con cada electrodo se dispone de un registro o arqueta con tapa que permita dichas tareas.

4.4.3.4. INSPECCIONES, PRUEBAS Y RECEPCIONES

El Adjudicatario realiza todas las pruebas y ensayos de circuitos y equipos y todas aquellas que sean exigidas por la Propiedad.

Pruebas y ensayos:

- Pruebas para tener la garantía de los fabricantes.

- Pruebas de aislamiento fase – fase y fase – tierra de todos los cables y el nivel de aislamiento.
- Pruebas de continuidad y medida de la resistencia de la red de tierra y tensiones de paso y contacto.
- Comprobación de polaridades y secuencias de fases.
- Comprobación nocturna del sistema de alumbrado.
- Certificación de todas las pruebas.

Las pruebas de cables se realizan inmediatamente después de que estos sean tendidos y antes de efectuar la conexión.

4.4.4. DOCUMENTACIÓN

Han de formar parte del suministro como mínimo los siguientes documentos, sin perjuicio de los indicados en otros apartados:

- Modificación o complemento de los Proyectos existentes para permisos oficiales de Unión Eléctrica FENOSA y Delegación de Industria para la instalación de baja tensión y además elementos de la instalación eléctrica.
- Planos de disposición, representados los equipos en detalle y perfectamente acotados.
- Planos de detalle de montaje; se representan todos los detalles necesarios para la correcta ejecución del montaje de los equipos de instalación.
- Lista de materiales: tiene que figurar todos los datos necesarios para poder reponer cualquier parte de un equipo.
- Lista de planos: relación del conjunto de planos, número de hojas, título y número de la última revisión.
- Instrucciones de montaje.
- Instrucciones de servicio.
- Instrucciones de mantenimiento.

**PLANTA DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE
LADOS DE DEPURADORA Y RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

**DOCUMENTO V:
PRESUPUESTO**

Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Química

Universidade de Santiago de Compostela

Escola Técnica Superior de Enxeñería

Julio, 2015

Francisco Manteiga Vázquez

1. Consideraciones previas

En este documento se elaborará un presupuesto detallado de la planta de codigestión anaerobia de lodos de depuradora y Residuos Sólidos Urbanos.

El desglose del presupuesto para costes directos se hace en las siguientes categorías:

1. Equipos mecánicos
2. Instalación de equipos
3. Instrumentación y control
4. Conducciones y válvulas
5. Instalación eléctrica
6. Construcciones de proceso y estructuras
7. Utilidades auxiliares

Y para costes indirectos se computan las siguientes partidas:

1. Diseño e ingeniería
2. Contratista
3. Contingencias

Para la estimación se utiliza el método factorial. El método factorial consiste en la estimación de las diferentes partidas del presupuesto en función de la partida presupuestaria de los equipos.

Se utilizan los factores indicados en la tabla para estimar los costes de cada partida. Se han omitido las partidas de utilidades, almacenes y edificios auxiliares por tratarse de una ampliación de la depuradora que ya cuenta con las utilidades y edificios necesarios. Sin embargo se considera una partida para acondicionamiento de la parcela por la existencia de movimientos de tierra.

Tabla 1 - Parámetros de aplicación del método de estimación factorial.¹

Item	Tipo de proceso		
	Fluído	Fluidos-sólidos	Sólidos
1. Sobre el coste de equipos			
f ₁ - Instalación de equipos	0.40	0.45	0.50
f ₂ - Tuberías	0.70	0.45	0.20
f ₃ - Instrumentación	0.20	0.15	0.10
f ₄ -Instalación eléctrica	0.10	0.10	0.10
f ₅ - Construcciones de proceso	0.15	0.10	0.05
f ₆ - Acondicionamiento de la parcela	0.05	0.05	0.05
2. Sobre el coste totqal de la planta			
f ₇ - Diseño e ingeniería	0.30	0.25	0.20
f ₈ - Contratista	0.05	0.05	0.05
f ₉ - Contingencia	0.10	0.10	0.10

Se aplican los factores correspondientes a una planta de tratamiento de sólidos y fluidos.

¹ Sinnott, R., *Chemical Engineering Design*, Vol. 6, 4ª ed., Oxford, Ed. Elsevier,2005.

2. Costes directos

2.1. Equipos mecánicos

En este apartado se hace una estimación del coste de adquisición de los equipos que conforman la planta.

La estimación del coste de los equipos se hace en primer lugar con los datos de costes del 2002, con índice CE de 390.4, y actualizados al año 2013, con un índice CE de 567.3. Los datos presentados en la tabla corresponden a los valores actualizados.

Tabla 2 - Partida presupuestaria para la compra de equipos.

Ítem	Equipo	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	TK-101	1	Tanque dosificador	46581	46581
2	CR-101	1	Trituradora	106081	106081
3	TR-101	1	Trommel	29063	29063
4	M-101	1	Separador magnético	50859	50859
5	P-101	2	Bomba	6539	13078
6	TK-102	1	Tanque dosificador	45133	45133
7	TM-101	1	Tanque de mezcla	33714	33714
8	P-201	2	Bomba	6539	13078
9	E-201	1	Intercambiador de espiral	21030	21030
10	E-202	1	Intercambiador de espiral	19056	19056
11	P-202	2	Bomba	9861	19722
12	R-201	1	Digestor	116606	116606
13	C-201	2	Soplante	12700	25401
14	F-301	1	Filtro de banda	72656	72656
15	CG-301	1	Cogeneración	65391	65391
TOTAL				614809	614809

2.2. Instalación de equipos

En este apartado se hace una estimación del coste de la instalación de los equipos adquiridos.

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.45 con respecto al coste de equipos comprados.

Tabla 3 - Partida presupuestaria para la instalación de equipos.

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partidaalzada	Incluye la instalación de los equipos adquiridos, cimientos y estructuras menores	304852	304852
			TOTAL	304852

2.3. Instrumentación y control

En este apartado se hace una estimación del coste de los dispositivos y sistemas de instrumentación y control de la planta.

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.15 con respecto al coste de equipos comprados.

Tabla 4 - Partida presupuestaria para la los sistemas de control e instrumentación.

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partida alzada	Incluye la adquisición e instalación de sensores, transmisores, controladores, indicadores y válvulas de control, así como cualquier otro elemento relativo al control del proceso.	101617	101617
TOTAL			101617	101617

2.4. Conducciones y válvulas

En este apartado se hace una estimación del coste relacionado con las conducciones y válvulas.

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.45 con respecto al coste de equipos comprados.

Tabla 5 - Partida presupuestaria para conducciones y válvulas.

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partidaalzada	Incluye la compra e instalación de tuberías y accesorios.	304852	304852
			TOTAL	304852

2.5. Instalación eléctrica

En este apartado se hace una estimación del coste relacionado con las instalaciones eléctricas necesarias.

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.10 con respecto al coste de equipos comprados.

Tabla 6 - Partida presupuestaria para la instalación eléctrica.

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partida alzada	Incluye la compra e instalación de materiales correspondientes a la instalación eléctrica de la planta.	67745	67745
			TOTAL	67745

2.6. Construcciones de proceso y estructuras

En este apartado se hace una estimación del coste relacionado con la construcción de equipos de proceso y de estructuras.

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.10 con respecto al coste de equipos comprados.

Tabla 7 - Partida presupuestaria para construcciones de proceso y estructuras.

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partidaalzada	Incluye la compra de materiales de construcción y estructuras así como su instalación.	67745	67745
TOTAL			67745	67745

2.7. Utilidades auxiliares

En este apartado se hace una estimación del coste relacionado con la instalación y preparación de nuevas conexiones y corrientes de utilidades o, en caso de ya existir, la ampliación de su capacidad

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.2 con respecto al coste de equipos comprados.

Tabla 8 - Partida presupuestaria para el acondicionamiento de la parcela.

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partidaalzada	Incluye conexiones y equipos para la oferta de utilidades auxiliares.	135490	135490
			TOTAL	135490

2.8. Coste de la planta física

El coste de la planta física abarca todas las partidas listadas en este apartado.

Ítem	Partida	Cuantía partida (euros)
1	Equipos mecánicos	614809
	Instalación de equipos	304852
	Instrumentación y control	101617
	Conducciones y válvulas	304852
	Instalación eléctrica	67745
	Cosntrucciones de proceso y estructuras	67745
	Utilidades auxiliares	135490
	CPF	1659748

3. Costes indirectos

Además del coste de equipos y de construcciones del proyecto existen otros costes relacionados con el proyecto que no tienen un significado físico en la planta. Su estimación se hace en función del coste de la planta física.

3.1. Diseño e ingeniería

En este apartado se hace una estimación del coste asociado a las labores de diseño e ingeniería para esta planta

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.25 con respecto al coste de la planta física

Tabla 9 - Partida presupuestaria para diseño e ingeniería.

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partida alzada	Incluye el pago por tareas de diseño e ingeniería	414937	414937
TOTAL			414937	414937

3.2. Contratista

En este apartado se hace una estimación del coste asociado a los honorarios del contratista.

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.05 con respecto al coste de la planta física.

Tabla 10 - Partida presupuestaria para los honorarios del contratista

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partidaalzada	Incluye los honorarios del contratista	82987	82987
TOTAL			82987	82987

3.3. Contingencias

En este apartado se hace una estimación del coste reservado para contingencias que puedan tener lugar durante el desarrollo del proyecto.

Se aplica, según el método factorial, una fracción de 0.10 con respecto al coste de la planta física.

Tabla 11 - Partida presupuestaria para contingencias.

Ítem	Unidades	Descripción	Precio unitario (euros)	Precio total (euros)
1	Partidaalzada	Incluye el presupuesto reservado para contingencias	165975	165975
			TOTAL	165975

4. Presupuesto global desglosado

En la tabla 12 se recogen todas las partidas presupuestarias, así como la cuantía total presupuestada para el proyecto.

Tabla 12 - Presupuesto global desglosado

	Partida	Cuantía partida (euros)
COSTES DIRECTOS	Equipos mecánicos	614809
	Instalación de equipos	304852
	Instrumentación y control	101617
	Conducciones y válvulas	304852
	Instalación eléctrica	67745
	Cosntrucciones de proceso y estructuras	67745
	Utilidades auxiliares	135490
COSTES INDIRECTOS	Diseño e ingeniería	414937
	Contratista	82987
	Contingencias	165975
	PRESUPUESTO TOTAL	3001096

El presupuesto total asciende a 3001096 €, TRES MILLONES MIL NOVENTA Y SEIS euros.

En Santiago de Compostela, Julio del 2015,

El autor del proyecto: