





# UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE ENXEÑARÍA  
MÁSTER EN ENXEÑARÍA QUÍMICA E BIOPROCESOS



TRABALLO FIN DE MÁSTER

## NOVOS SOLVENTES QUÍMICOS PARA PROCESOS DE CAPTURA/REXENERACIÓN DE CO<sub>2</sub>

ABEL MUÑIZ MOURO  
FEBREIRO DE 2015



## RESUMO

No presente Trabajo Fin de Máster realizouse un estudo sobre o proceso de captura/rexeneración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por absorción en distintos disolventes químicos non empregados comunmente a nivel industrial. Establecéronse comparacións entre o uso de *N,N*-Dimetiletilendiamina (DMEN) e o uso dunha mestura de etanolamina (MEA) e *N,N*-Dimetiletanolamina (DMEA) no proceso de absorción de  $\text{CO}_2$ , podendo así analizar a influencia da composición do disolvente, tendo en conta que estes compostos aportan a mesma concentración dos mesmos grupos amino. Asemade establecéronse comparacións entre o uso dunha mestura de MEA e DMEA cunha relación equimolar de ambos compostos fronte a unha mestura cun 83.3% dos grupos amino procedentes de MEA. Os diferentes mecanismos de absorción de  $\text{CO}_2$  determináronse empregando a espectroscopía de resonancia magnética nuclear de hidróxeno e carbono para determinar as especies presentes no medio ao longo do tempo. A maiores, realizáronse experimentos de captura/rexeneración de  $\text{CO}_2$  en continuo que permitiron analizar o proceso completo e identificar a capacidade de rexeneración dos disolventes estudados, así coma a posible existencia de degradación do disolvente.



MEMORIA



# ÍNDICE DE CONTIDOS

## **NOMENCLATURA**

---

<b>1. OBXECTIVOS</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
2.1. CAMBIO CLIMÁTICO E DIÓXIDO DE CARBONO	2
2.2. OPCIONS TECNOLÓXICAS PARA A CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO	5
2.2.1. CAPTURA POST-COMBUSTIÓN	6
2.2.2. CAPTURA PRE-COMBUSTIÓN	9
2.2.3. OXICOMBUSTIÓN	10
2.3. REUTILIZACIÓN DO DIÓXIDO DE CARBONO CAPTURADO	10
2.4. ESTADO DA ARTE	11
2.4.1. ABSORCIÓN	11
2.4.2. REXENERACIÓN	13
2.5. EQUIPOS DE CONTACTO GAS-LÍQUIDO	14
2.5.1. COLUMNA DE BURBULLEO	15
2.6. RISCOS E MEDIO AMBIENTE	17
<b>3. MÉTODO EXPERIMENTAL</b>	<b>19</b>
3.1. MATERIAIS E EQUIPO	19
3.1.1. COMPOSTOS QUÍMICOS	19
3.1.2. EQUIPO EXPERIMENTAL	19
3.2. METODOLOXÍA EN ESTUDOS DE ABSORCIÓN	21
3.3. METODOLOXÍA EN ESTUDOS DE MECANISMO DE REACCIÓN	25
3.4. METODOLOXÍA EN ESTUDOS DE CAPTURA/REXENERACIÓN EN CONTINUO	26
<b>4. RESULTADOS E DISCUSIÓN</b>	<b>31</b>
4.1. ESTUDOS DE ABSORCIÓN	31
4.1.1. ABSORCIÓN DE CO <sub>2</sub> EN AUGA DESIONIZADA	33
4.1.2. ABSORCIÓN DE CO <sub>2</sub> EN MEA	34
4.1.3. ABSORCIÓN DE CO <sub>2</sub> EN DMEA	35
4.1.4. ABSORCIÓN DE CO <sub>2</sub> EN MESTURA DE MEA E DMEA	36

4.1.5.	ABSORCIÓN DE CO <sub>2</sub> EN DMEN	39
4.1.6.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA OS DISTINTOS DISOLVENTES	42
<b>4.2.</b>	<b>ESTUDOS DE MECANISMO DE REACCIÓN</b>	<b>47</b>
4.2.1.	MECANISMO DE REACCIÓN DE MEA	48
4.2.2.	MECANISMO DE REACCIÓN DE DMEA	52
4.2.3.	MECANISMO DE REACCIÓN DA MESTURA DE MEA E DMEA	54
4.2.4.	MECANISMO DE REACCIÓN DE DMEN	60
4.2.5.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA OS DISTINTOS DISOLVENTES	67
<b>4.3.</b>	<b>ESTUDOS DE CAPTURA/REXENERACIÓN EN CONTINUO</b>	<b>68</b>
4.3.1.	CAPTURA/REXENERACIÓN EN CONTINUO EN MESTURA DE MEA E DMEA	68
4.3.2.	CAPTURA/REXENERACIÓN EN CONTINUO EN DMEN	73
4.3.3.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA OS DISTINTOS DISOLVENTES	75
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIÓNS</b>	<b>78</b>
<b>5.1.</b>	<b>ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO</b>	<b>78</b>
<b>5.2.</b>	<b>MECANISMOS DE REACCIÓN DA ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO</b>	<b>79</b>
<b>5.3.</b>	<b>REXENERACIÓN DE DISOLVENTES QUÍMICOS</b>	<b>80</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>81</b>

---

**ANEXO I – FICHAS DE SEGURIDADE**

---

## NOMENCLATURA

COMPOSTOS QUÍMICOS		VARIABLES	
<b>AEPD</b>	2-etil-1,3-propanodiol	$\%_{rex}$	Porcentaxe de rexeneración
<b>AMP</b>	Amino-2-metil-1-propanol	$a$	Área interfacial gas-líquido
<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>	Hidróxido cálcico	$C_A^*$	Solubilidade do CO <sub>2</sub>
<b>Ca<sup>+2</sup></b>	Catión calcio	$C_B$	Concentración en amina do disolvente
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Carbonato cálcico	$d$	Diámetro de burbulla
<b>CD<sub>3</sub>OD</b>	Metanol tetradeuterado	$\epsilon_G$	Retención de gas
<b>CFCs</b>	Clorofluorocarbonos	$k$	Constante cinética
<b>CH<sub>3</sub>OD</b>	Metanol deuterado	$K_a$	Constante de disociación
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano	$K_L$	Coefficiente de transferencia de materia na fase líquida
<b>CO</b>	Monóxido de carbono	$M$	Masa molar
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono	$m$	Masa
<b>CO<sub>3</sub><sup>-2</sup></b>	Anión carbonato	$\mu$	Viscosidade
<b>D<sub>2</sub>O</b>	Auga deuterada	$N_A$	Caudal molar de CO <sub>2</sub> absorbido
<b>DEA</b>	Dietanolamina	$P$	Presión
<b>DGA</b>	Diglicolamina	$Q_G$	Caudal de gas á entrada do reactor
<b>DMEA</b>	<i>N,N</i> -dimetiletanolamina	$Q_{G(abs)}$	Caudal de gas absorbido
<b>DMEN</b>	<i>N,N</i> -dimetiletildiamina	$Q_{G(saída)}$	Caudal de gas á saída do reactor
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidróxeno	$Q_L$	Caudal de líquido
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Auga	$R$	Constante dos gases ideais
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Anión bicarbonato	$T$	Temperatura
<b>HFCs</b>	Hidrofluorocarbonos	$T_{eb}$	Temperatura de ebulición
<b>MDEA</b>	<i>N</i> -medildietanolamina	$V$	Volume de disolvente
<b>MEA</b>	Etanolamina	$V_R$	Volume de disolvente no reactor
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitróxeno		
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Dióxido de nitróxeno		
<b>OH<sup>-</sup></b>	Grupo hidroxilo		
<b>PC</b>	Carbonato de propileno		
<b>RNH<sub>2</sub></b>	Amina		
<b>RNH<sub>3</sub><sup>+</sup></b>	Amina protonada		
<b>RNHCO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Carbamato		
<b>SF<sub>6</sub></b>	Hexafluoruro de xofre		
<b>TEA</b>	Trietanolamina		
<b>TETA</b>	Trietilenglicol tetramina		

LETRAS GREGAS	
$\alpha$	Carga de CO <sub>2</sub> do disolvente
$\alpha_{antes\ rex}$	Carga de CO <sub>2</sub> do disolvente antes da rexeneración
$\alpha_{antes\ rex}$	Carga de CO <sub>2</sub> do disolvente trala rexeneración
$\alpha_{columna}$	Carga de CO <sub>2</sub> do disolvente na columna
$\rho$	Densidade
$\tau$	Tempo de residencia
$\omega$	Velocidade de xiro do motor

UNIDADES	
°C	Grao centígrado
atm	Atmosfera
g	Gramo
K	Kelvin
L	Litro
m	Metro
M	Molar (mol·L <sup>-1</sup> )
min	Minuto
mol	mol
Pa	Pascal
ppm	Partes por millón
rpm	Revolucións por minuto
s	Segundo

# 1. OBXECTIVOS



## 1. OBXECTIVOS

Unha das principais liñas de investigación no ámbito dos procesos de captura/rexeneración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) baséase na busca de disolventes que sexan facilmente rexenerables, que presenten cinéticas de absorción rápidas e minimicen os requirimentos enerxéticos do proceso global. Respondendo a esta tendencia, o principal obxectivo do presente Traballo Fin de Máster é a realización dun estudo sobre o proceso de captura/rexeneración de CO<sub>2</sub> por absorción en distintos disolventes químicos non empregados comunmente a nivel industrial. Para isto estableceranse comparacións entre o uso de *N,N*-dimetiletilendiamina (DMEN) e o uso dunha mestura de aminas no proceso de absorción de CO<sub>2</sub>; estudarase a utilización de mesturas de etanolamina (MEA) e *N,N*-dimetiletanolamina (DMEA) empregando distintas proporcións de cada compoñente. Isto permitirá analizar o efecto da presenza dos grupos amino nunha mesma molécula ou en moléculas separadas.

Os diferentes mecanismos de reacción determinaranse empregando a espectroscopía de resonancia magnética nuclear de hidróxeno e carbono (RMN de <sup>1</sup>H e <sup>13</sup>C) para determinar as especies presentes no medio ao longo do proceso.

Realizaranse experimentos de captura/rexeneración de CO<sub>2</sub> en continuo para analizar o proceso completo e identificar a posible existencia de degradación do disolvente, que implicaría un descenso no rendemento do proceso global.



## 2. INTRODUCCIÓN



## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. CAMBIO CLIMÁTICO E DIÓXIDO DE CARBONO

O Panel Intergubernamental sobre o Cambio Climático (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) foi creado no ano 1988 pola Organización Meteorolóxica Mundial e o Programa das Nacións Unidas de Medio Ambiente coa finalidade de avaliar a información científica e socioeconómica sobre o cambio climático, os posibles impactos que dito cambio climático poden producir sobre o medio ambiente, as opcións de mitigalo e a adaptación ao mesmo. Esta entidade define o cambio climático coma “un termo que denota un cambio no estado do clima identificable a raíz dun cambio no valor medio ou na variabilidade das súas propiedades e que persiste durante un período prolongado, xeralmente décadas ou períodos superiores; este termo denota todo o cambio do clima ao longo do tempo, tanto se é debido á variabilidade natural coma se é consecuencia da actividade humana” [1].

Foi no ano 1992 cando a preocupación internacional polo cambio climático aumentou e conduciu á Convención Marco das Nacións Unidas sobre o Cambio Climático, cuxo principal obxectivo foi a “estabilización das concentracións de gases de efecto invernadoiro na atmosfera a un nivel que impida interferencias antropoxénicas perigosas co sistema climático, acadando dito nivel nun prazo suficiente para permitir que os ecosistemas se adapten naturalmente ao cambio climático, asegurando que a produción de alimentos non se vexa afectada e o desenvolvemento económico prosiga de maneira sostible” [2].

Para facer efectiva a redución das emisións globais de gases de efecto invernadoiro, no ano 1997 estableceuse o Protocolo de Kyoto, cuxo obxectivo principal era a redución global, para o período de 2008 a 2012, de cando menos un 5% por debaixo das emisións existentes en 1990 [3].

A décimo oitava Conferencia das Partes (COP 18) sobre o cambio climático en Durban ratificou o período de vixencia do Protocolo de Kyoto (dende o 2013 ata o 2020), sen embargo, este proceso denotou un débil compromiso por parte de países altamente industrializados coma Estados Unidos, Rusia, Xapón e Canadá, que non apoiaron a prórroga, mentres que outros países, tamén grandes emisores de CO<sub>2</sub>, coma Brasil, China, India e Irán si se adscribiron ao protocolo [4].

Se ben Estados Unidos non ratificou o Protocolo de Kyoto, dende o 2015 fixou como obxectivo, a través da Axencia de Protección Medioambiental (EPA), a redución das súas emisións de gases de efecto invernadoiro nun 30% para o ano 2030.

Recentemente, tamén no ano 2015, tivo lugar a vixésimo primeira Conferencia das Partes (COP 21) sobre o cambio climático, onde se aprobou o denominado Acordo de París que establece

as medidas para a redución das emisións de CO<sub>2</sub> a levar a cabo a partir do ano 2020, sendo os principais obxectivos deste acordo [5]:

- Manter o aumento das temperaturas por debaixo dos 2°C con respecto aos niveis preindustriais e perseguir esforzos para limitar o aumento a un máximo de 1.5°C.
- Aumentar a capacidade de adaptación aos efectos adversos do cambio climático e promover a resiliencia ao clima e un desenvolvemento con baixas emisións de gases de efecto invernadoiro, de xeito que non comprometa a produción de alimentos.
- Elevar as correntes financeiras a un nivel compatible cunha traxectoria que conduza a un desenvolvemento resilente ao clima e con baixas emisións de gases de efecto invernadoiro.

O IPCC identifica seis gases antropoxénicos como causantes do cambio climático: CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (dióxido de nitróxeno), SF<sub>6</sub> (hexafluoruro de xofre), CFCs (clorofluorocarbonos), HFCs (hidrofluorocarbonos). Asemade, o IPCC indica que [1]:

- A temperatura superficial media global da terra aumentou arredor de 0.6°C durante o s. XX.
- Aproximadamente tres cuartas partes das emisións antropoxénicas de CO<sub>2</sub> á atmosfera dos últimos 20 anos débense aos procesos de combustión de combustibles fósiles.
- Os futuros cambios na composición atmosférica e no clima son inevitables debido ao aumento da temperatura e a algúns fenómenos extremos. Ademais, os aumentos e diminucións de precipitacións en distintas rexións do planeta implicarán un maior risco de inundacións e secas.

O CO<sub>2</sub> é o segundo gas de efecto invernadoiro máis abundante na atmosfera terrestre<sup>1</sup> e contribuíu a aproximadamente un 85% do aumento do efecto invernadoiro na última década [6].

Este gas emítese de forma natural mediante diferentes procesos tales coma a respiración, erupcións volcánicas e fenómenos tectónicos, entre outros, pero a maior parte de emisións deste gas proceden de fontes antropoxénicas, dentro das cales destacan as emisións de CO<sub>2</sub> producidas en procesos industriais coma a fabricación de cementos, produción de hidróxeno, combustión de combustibles fósiles e/ou biomasa para a produción de enerxía eléctrica, etc., aínda que tamén debe terse en conta a súa produción na combustión de combustibles nos motores de automóbiles, fornos empregados no ámbito residencial e comercial, etc. [1].

---

<sup>1</sup> Sendo o primeiro o vapor de auga, non contemplado polo IPCC como gas de orixe antropoxénica xa que a súa concentración na atmosfera depende da temperatura e outras condicións meteorolóxicas.

Xa que as emisións de CO<sub>2</sub> aumentan e a capacidade de absorción de CO<sub>2</sub> dos océanos diminúe, a concentración na atmosfera aumenta ano tras ano, tal e como se pode observar na Figura 1.

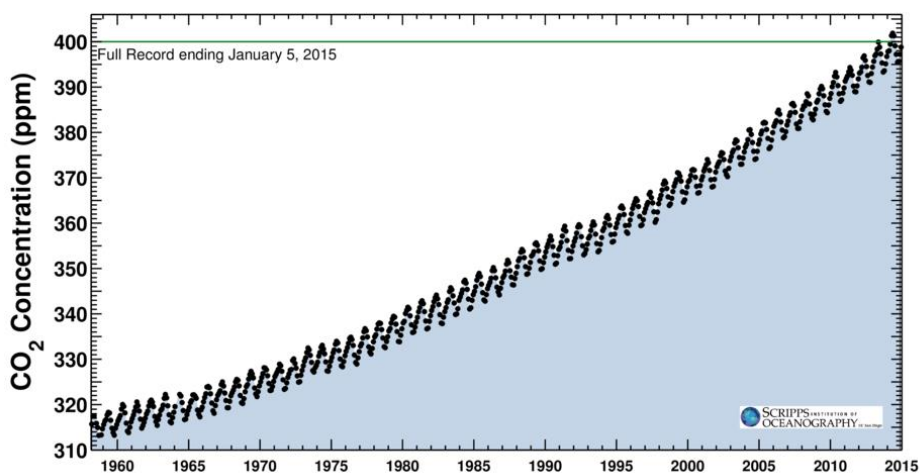


Figura 1. Curva Keeling: concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico medida en Mauna Loa (Hawai) dende o ano 1958 [7].

Actualmente a concentración de CO<sub>2</sub> na atmosfera supera as 400 partes por millón (ppm), un valor nunca antes superado, pero que tamén é un valor inferior ao verdadeiramente emitido, pois debe terse en conta que parte do CO<sub>2</sub> emitido á atmosfera se consume en procesos fotosintéticos e de absorción nos océanos; na actualidade os principais sumidoiros naturais de CO<sub>2</sub> son os océanos, que conseguen absorber practicamente un 50% das emisións totais deste gas. Sen embargo, a súa capacidade de absorción diminúe co paso do tempo, volvéndose cada vez as augas máis ácidas [6].

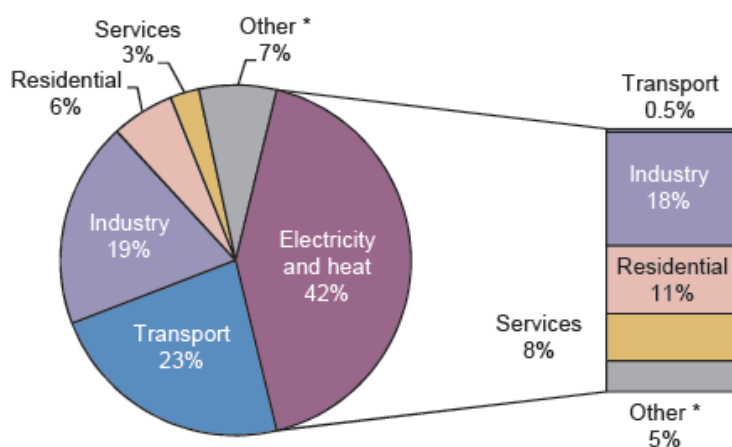


Figura 2. Emisión global de CO<sub>2</sub> por sectores no ano 2013<sup>2</sup> [8].

<sup>2</sup> \*Agricultura, pesca e outras emisións non especificadas.

Tal e como pode verse na Figura 2, os sectores que representan as maiores emisións de CO<sub>2</sub> son a produción de electricidade e calor (42%, sendo a electricidade e calor empregadas na industria un 18%, as destinadas ao ámbito residencial un 11% e as restantes empregadas polo sector servizos e outros usos<sup>2</sup>), o transporte (23%) e a industria (19%, sen considerar as emisións ligadas ao consumo de electricidade e calor por parte deste sector), seguidos de emisións varias<sup>2</sup> (7%), emisións no ámbito residencial (6%) e emisións no sector servizos (3%).

Xeográficamente, a distribución destas emisións pódese observar na Figura 3.



Figura 3. Distribución xeográfica das principais fontes estacionarias de CO<sub>2</sub> [9].

## 2.2. OPCIONS TECNOLÓXICAS PARA A CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO

O obxectivo da captura de CO<sub>2</sub> consiste en xerar unha corrente de concentración elevada en CO<sub>2</sub> que poida ser máis facilmente transportada a un lugar de almacenamento, reducindo así o custe ligado a dito transporte [1].

Tendo en conta que unha das principais fontes de emisión de CO<sub>2</sub> está constituída pola queima de combustibles fósiles, a primeira opción lóxica é a redución do consumo deste tipo de combustibles, que se ben se está a producir gradualmente grazas aos desenvolvementos na área dos biocombustibles, non é totalmente substituíble actualmente. Tendo en conta que as principais consumidoras de combustibles fósiles son as plantas produtoras de enerxía, dependendo do proceso concreto de cada instalación existen tres enfoques principais para a captura do CO<sub>2</sub> xerado: post-combustión, pre-combustión e oxicombustión [9].

### 2.2.1. CAPTURA POST-COMBUSTIÓN

As opcións de captura post-combustión consisten na separación do CO<sub>2</sub> de todos os demais compoñentes dos gases de combustión producidos na queima de combustibles en presenza de aire. Este tipo de procesos responden ao diagrama representado na Figura 4.

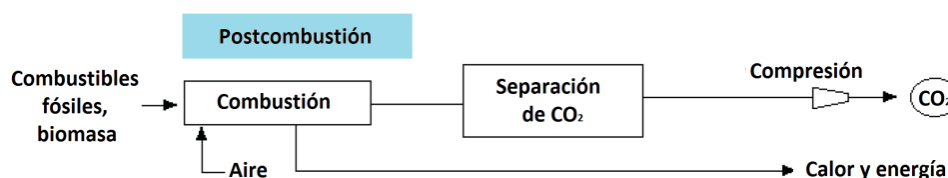


Figura 4. Diagrama dos procesos de captura de CO<sub>2</sub> post-combustión [9].

As fraccións de CO<sub>2</sub> presentes nos gases de combustión adoitan non ser moi elevadas, oscilando o seu valor entre un 4 e un 14% habitualmente, polo que os equipos industriais necesarios para este tipo de procesos de captura acostuman a ser de grandes dimensións e representan unha gran inversión de capital.

Algunhas das tecnoloxías post-combustión para a captura de CO<sub>2</sub> son a adsorción, absorción, uso de membranas, tecnoloxías compactas, etc., sendo a absorción o proceso máis amplamente empregado.

#### ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

A absorción de CO<sub>2</sub> máis estendida é aquela que emprega compostos baseados en alcanolaminas como disolventes, sendo o máis empregado a MEA por ser un composto barato, altamente reactivo co CO<sub>2</sub> e termicamente estable. Se ben este proceso ten como principais vantaxes unha elevada selectividade en CO<sub>2</sub> a baixas presións parciais do mesmo e unha elevada eficiencia na captura, a propia natureza dos disolventes empregados é a que implica os seus principais inconvenientes; os disolventes baseados en alcanolaminas adoitan ser corrosivos e a posterior rexeneración dos mesmos, habitualmente de tipo térmico, induce elevados custos enerxéticos ao proceso [10].

A montaxe tradicional a nivel industrial correspondente á absorción de CO<sub>2</sub> empregando disolventes líquidos rexenerables é a representada na Figura 5.

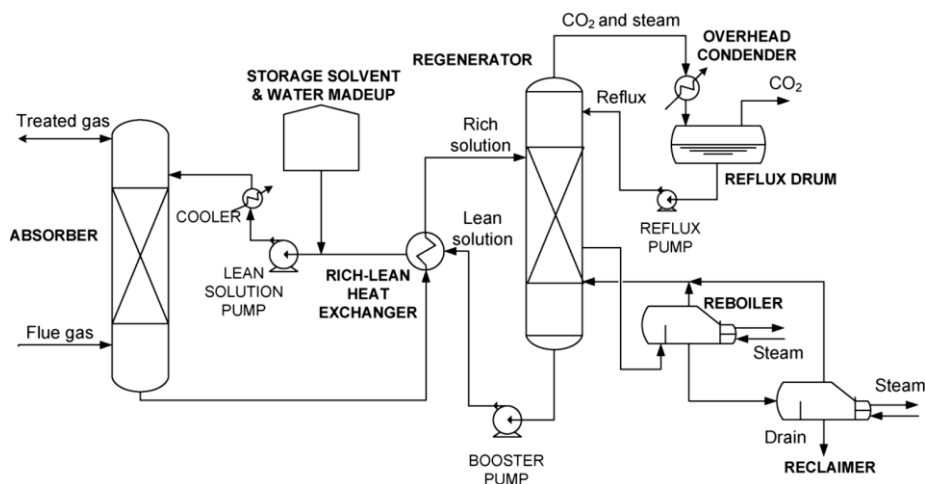


Figura 5. Diagrama de fluxo dunha instalación típica de absorción de CO<sub>2</sub> [11].

O proceso baséase en dúas etapas; unha primeira sección onde se leva a cabo a absorción de CO<sub>2</sub> no disolvente líquido, principalmente por vía química, e unha posterior sección de rexeneración onde se separa o CO<sub>2</sub> absorbido aportando calor ao disolvente [11].

Na sección de absorción, o gas cuxo CO<sub>2</sub> se quere capturar entra pola parte inferior do absorbedor e ascende en contracorrente co disolvente, que entra pola parte superior. Traballando ás condicións axeitadas, o CO<sub>2</sub> transfírese dende a corrente gasosa á fase líquida, dando como resultado por cabezas un gas pobre en CO<sub>2</sub> e por colas un líquido rico en CO<sub>2</sub> ou en compostos derivados da reacción do disolvente co mesmo.

Nun primeiro paso na sección de rexeneración, elévase a temperatura do disolvente rico en CO<sub>2</sub> mediante un intercambiador de calor (habitualmente utilizando algunha corrente de proceso, tal e como se indica na Figura 5, para facilitar a integración enerxética), e posteriormente introdúcese no rexenerador, onde se leva a cabo a destilación do disolvente, que entra pola parte superior. Ao producirse a evaporación do mesmo, o disolvente libera o CO<sub>2</sub> absorbido, que abandona o equipo pola parte superior, mentres que o disolvente en estado vapor se condensa e retorna ao equipo, podendo ser recirculado á sección de absorción (arrefriándose antes de ser retornado ao absorbedor, para non prexudicar esta operación).

Dependendo do modo no que o gas se absorbe no líquido, distínguense dous tipos de disolventes: disolventes físicos e disolventes químicos.

Os disolventes físicos empréganse comunmente para correntes gasosas de presións parciais elevadas e requiren un aporte de enerxía menor na etapa de rexeneración, pero teñen unha capacidade de captura menor. Algún exemplo de disolventes físicos son: auga, carbonato de propileno (PC), metanol ou sulfolano.

Os disolventes químicos máis comúns son os baseados en alcanolaminas, e empréganse habitualmente en forma de disolucións acuosas. Exemplos destes disolventes son: MEA,

N-Metildietanolamina (MDEA), dietanolamina (DEA), diglicolamina (DGA), trietanolamina (TEA), etc.

A transferencia de materia con reacción química no proceso de absorción ten lugar en varias etapas [9]:

- Difusión do reactivo dende a fase gasosa ata a interfase gas-líquido.
- Difusión dende a interfase ata a fase líquida.
- Reacción na fase líquida.
- Difusión dos produtos e reactivos na fase líquida debido aos gradientes de concentración xerados pola reacción química.

O sistema máis estudado é aquel no que un composto B presente nunha fase líquida reacciona cun composto A presente na fase gasosa. Dependendo das velocidades relativas de difusión e da reacción entre os compostos B e A, os sistemas de absorción clasifícanse en diferentes réximes, sendo os máis comúns:

- **Reacción moi lenta:** transcorre fundamentalmente no seo da fase líquida, polo que todo o líquido aumenta a súa concentración no gas chegando á concentración de saturación ditada pola solubilidade do gas no líquido.
- **Reacción lenta:** a concentración de gas acadada no seo do líquido é inferior á de saturación, e identifícase unha reacción de gas disolto durante o seu transporte a través da película de difusión.
- **Reacción moderadamente rápida:** unha fracción considerable de gas reacciona na película polo que a concentración de gas sen reaccionar no seo do líquido será pequena.
- **Reacción rápida:** a reacción é tan rápida que se produce totalmente na película de líquido, polo que no seo do líquido a concentración de gas será nula.
  - *Reacción de pseudo-primeira orde:* constitúe un tipo concreto de reacción rápida e prodúcese cando a concentración do reactivo B na maior parte do líquido supera a solubilidade de A.
- **Reacción instantánea:** o gas disolto A reacciona instantaneamente co compoñente B, formándose unha película na interfase na cal a concentración de ambos compoñentes é cero. Neste tipo de reaccións, a velocidade está controlada unicamente pola difusión dos reactivos.

Outra opción consiste na mestura de disolventes físicos e químicos, como por exemplo sulfolano e MDEA, que representa un sistema eficaz para eliminar compostos de xofre e CO<sub>2</sub> de xeito simultáneo. Neste caso o sulfolano actúa coma un almacenamento de CO<sub>2</sub>, mentres que a MDEA é o verdadeiro disolvente reactivo.

### 2.2.2. CAPTURA PRE-COMBUSTIÓN

Tal e como se pode ver na Figura 6, as diferentes tecnoloxías de captura pre-combustión levan a cabo un procesado do combustible ( $C_xH_y$ ) nun reactor antes da súa combustión, co obxectivo de obter gas de síntese, unha mestura composta maioritariamente de monóxido de carbono (CO) e hidróxeno ( $H_2$ ). Este tipo de tecnoloxías, ademais de lograr unha redución das emisións de  $CO_2$ , caracterízanse pola xeración de correntes ricas en  $H_2$ , que poderían empregarse para a produción de enerxía eléctrica (mediante combustión para mover turbinas) ou para alimentar células de combustible para vehículos.

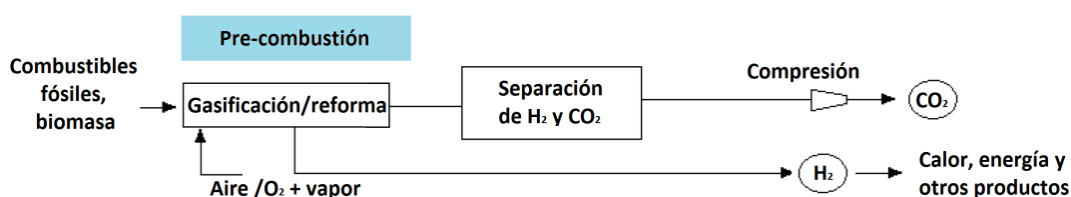


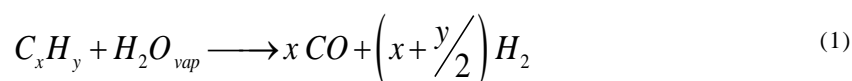
Figura 6 .Diagrama dos procesos de captura de  $CO_2$  pre-combustión [9].

Estes procesos pódense dividir en tres etapas fundamentais: gasificación/oxidación parcial ou reformado do combustible, reacción *shift* e separación do  $CO_2$ .

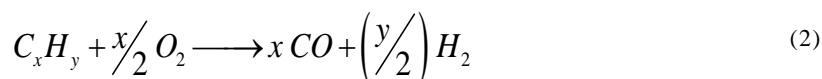
#### PRODUCCIÓN DE GAS DE SÍNTESE

Esta etapa recibe o nome de reformado, gasificación ou oxidación parcial segundo o tipo de reacción química que se leve a cabo e ten por obxectivo a transformación do combustible en gas de síntese:

- Reformado con vapor de auga ( $H_2O_{vap}$ ):



- Gasificación ou oxidación parcial con osíxeno ( $O_2$ )<sup>3</sup>:



#### REACCIÓN SHIFT

Esta reacción consiste na conversión do CO obtido no paso anterior en  $CO_2$ , para facilitar a separación do mesmo do  $H_2$  na seguinte etapa:



<sup>3</sup> Se ten lugar con combustibles sólidos denomínase gasificación, mentres que se o combustible é un líquido ou un gas, recibe o nome de oxidación parcial.

### SEPARACIÓN DO DIÓXIDO DE CARBONO

É nesta etapa na que ten lugar a captura de CO<sub>2</sub> propiamente dita.

#### 2.2.3. OXICOMBUSTIÓN

Os sistemas de oxicombustión, cuxo diagrama simplificado se amosa na Figura 7, empregan osíxeno puro en lugar de aire para a queima do combustible, producindo así un gas de combustión composto principalmente por vapor de auga e dióxido de carbono, o que fai que a fracción de CO<sub>2</sub> aumente ata ser superior ao 80% en volume. Unha posterior etapa de arrefriamento e compresión consegue eliminar o vapor de auga da corrente de CO<sub>2</sub>.

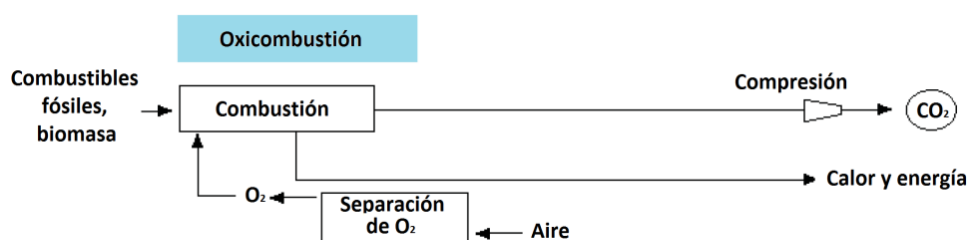


Figura 7. Diagrama dos procesos de captura de CO<sub>2</sub> por oxicombustión [9].

A principal desvantaxe deste tipo de tecnoloxías é que se precisan correntes cunha elevada pureza de osíxeno (95-99%); ademais, é habitual que se necesite realizar un tratamento adicional dos gases de combustión para eliminar contaminantes do aire e gases non condensables antes de que o CO<sub>2</sub> obtido se envíe ao almacenamento. Actualmente, os métodos de captura de CO<sub>2</sub> por oxicombustión son as tecnoloxías menos estudadas.

### 2.3. REUTILIZACIÓN DO DIÓXIDO DE CARBONO CAPTURADO

Trala captura ten lugar o almacenamento do CO<sub>2</sub>, que pode ser de tipo temporal a curto prazo para un posterior uso ou de tipo xeolóxico.

Malia todo, o almacenamento xeolóxico non dista de ser unha solución temporal para a redución das emisións de CO<sub>2</sub> á atmosfera. Estímase que o potencial de almacenamento mundial permitirá o confinamento xeolóxico de CO<sub>2</sub> durante os próximos 300 anos, o que supón un espazo temporal suficiente para a busca de alternativas tecnolóxicas permanentes [4].

Os posibles usos do CO<sub>2</sub> capturado son múltiples e variados, destacando, entre outros [12]:

- Materia prima para a produción de urea.
- Uso en cultivo de algas.
- Extracción de cru de reservas “esgotadas”.
- Materia prima para o procesado de plásticos.
- Materia prima para reaccións de carbonatación (produción de bebidas carbonatadas, carbonatación de residuos de bauxita, etc.).
- Usos no curado do cemento.

## 2.4. ESTADO DA ARTE

### 2.4.1. ABSORCIÓN

Entre os disolventes máis investigados para a absorción de CO<sub>2</sub>, na actualidade están gañando gran relevancia as mesturas de alcanolaminas, que reciben o nome de aminas mixtas, xa que aportan diferentes vantaxes fronte ao uso das alcanolaminas de forma individual. A maioría das mesturas baséanse na adición dunha amina terciaria (é dicir, unha amina na cal o grupo amino non está enlazado a ningún hidróxeno, senón a outros radicaís) a unha amina primaria (o grupo amino destes compostos atópase enlazado a dous hidróxenos e a un radical ou grupo funcional diferente). As aminas primarias e secundarias teñen como principal vantaxe unha velocidade de captura de CO<sub>2</sub> elevada, mentres que as aminas terciarias teñen unha capacidade de captura de CO<sub>2</sub> superior e a súa rexeneración require dun menor aporte enerxético [11].

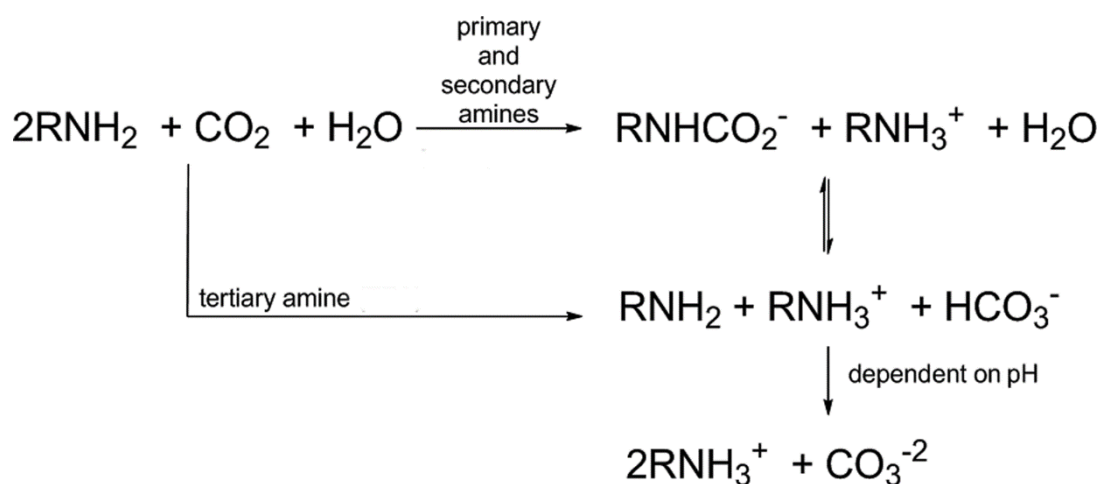


Figura 8. Mecanismos de reacción para a absorción de CO<sub>2</sub> empregando distintos tipos de aminas [13].

A explicación disto vén dada pola Figura 8, na que se pode ver que a absorción de CO<sub>2</sub> con aminas (RNH<sub>2</sub>) primarias e secundarias en fase acuosa leva á produción de amina protonada (RNH<sub>3</sub><sup>+</sup>) e carbamato (RNHCO<sub>2</sub><sup>-</sup>), cunha relación estequiométrica de 2 mol de amina por 1 mol de CO<sub>2</sub>, de xeito que a rexeneración da amina consumida tería que pasar pola desprotonación da amina protonada e descomposición do carbamato en amina e bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dependendo esta etapa da estabilidade do carbamato (que depende, á súa vez, da amina primaria empregada e do pH do medio) e que se leva a cabo fundamentalmente por vía térmica [13].

Pola contra, as aminas terciarias en disolución acuosa absorben o CO<sub>2</sub> dando lugar unicamente a amina protonada e bicarbonato, sendo a relación estequiométrica real de 1 mol de amina por 1 mol de CO<sub>2</sub>. A ausencia de carbamato fai que a rexeneración consista unicamente en desprotonar a amina protonada, proceso que depende exclusivamente do pH, o que posibilita

outros métodos de rexeneración independentes de aporte enerxético (ver apartado “2.4.2. Rexeneración”).

A amina primaria máis estudada, cuxo uso representa actualmente a Mellor Técnica Disponible, é a MEA, para a cal se propón unha cinética de absorción de segunda orde [14], mentres que unha das aminas terciarias máis estudadas é a MDEA [15].

O uso da mestura das aminas primarias e terciarias fai posible combinar as vantaxes de cada una delas, é dicir, obter unha velocidade de captura superior á das aminas terciarias cunha capacidade de captura superior á das primarias, aparte de diminuír os requirimentos enerxéticos da rexeneración respecto das aminas primarias; existen evidencias recentes dos resultados positivos do uso de diferentes aminas mixtas fronte a aminas individuais [16], [17].

Esta nova tendencia do estudo de mesturas é a que leva ao principal interese deste Traballo Fin de Máster, que consiste en combinar nun mesmo composto unha amina primaria e unha terciaria, é dicir, empregar unha diamina, para estudar se os beneficios que aporta a mestura dos compostos individuais se manteñen se estes forman parte dun mesmo composto.

Sen embargo o uso de alcanolaminas na absorción tamén implica certos inconvenientes, como a corrosión dos equipos [18] e a elevada presión de vapor das alcanolaminas [19]; estes inconvenientes acaban por traducirse nunha perda de disolvente e por conseguinte nunha redución da eficiencia do proceso. Os problemas ligados á corrosión pódense evitar engadindo compostos inhibidores da corrosión, pero nalgúns casos o mal control destas substancias conduce a problemas de maior índole [20].

Recentemente estudouse o uso de aminas estericamente impedidas<sup>4</sup> que ofrecen unha capacidade de absorción elevada e unha velocidade de absorción, selectividade e resistencia á degradación superiores ás das aminas usadas convencionalmente; ademais, o baixo requirimento enerxético para a rexeneración destas aminas reduce o custe total do proceso. Algúns exemplos de aminas estericamente impedidas estudadas son a amino-2-metil-1-propanol (AMP) ou a 2-amino-2-etil-1,3-propanodiol (AEPD), así coma mesturas das mesmas con aminas primarias e secundarias.

Outras investigacións céntranse no desenvolvemento e estudo de novos disolventes, ben baseados en alcanolaminas (por exemplo o uso de trietilenglicol tetramina (TETA), [21]) ou noutras formulacións, coma os sales de aminoácidos. Estes últimos presentáronse como unha alternativa interesante e amosaron rendementos similares aos obtidos con MEA [22].

---

<sup>4</sup> Amina primaria ou secundaria na que o grupo amino está unido a un átomo de carbono secundario ou terciario.

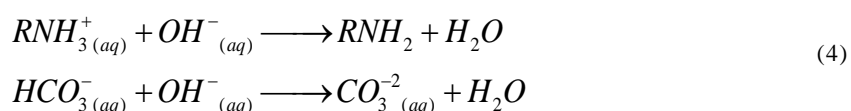
### 2.4.2. REXENERACIÓN

A tecnoloxía empregada a nivel industrial para a rexeneración dos disolventes é, na maioría dos casos, térmica e presenta principalmente dous problemas: o requirimento enerxético que implica é moi elevado, chegando a supoñer ata un 70% dos custes do proceso de captura de CO<sub>2</sub>, e a elevada temperatura que se precisa para a rexeneración xera procesos de degradación da amina empregada, dando lugar nun primeiro momento á perda de disolvente e a posteriores problemas de corrosión dos equipos, formación de subprodutos derivados da amina que crean espumas, aumentan a viscosidade do medio, etc. [23].

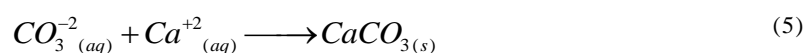
Actualmente existen tecnoloxías alternativas de rexeneración das aminas para evitar todos os inconvenientes que presenta a rexeneración térmica, pero non son totalmente aplicables aos diferentes tipos de aminas; exemplos disto son a rexeneración por tratamento con hidróxido cálcico (Ca(OH)<sub>2</sub>) ou a rexeneración por intercambio iónico [24] [25].

#### REXENERACIÓN POR TRATAMENTO CON HIDRÓXIDO CÁLCICO

A rexeneración por tratamento con Ca(OH)<sub>2</sub> baséase en dúas reaccións químicas consecutivas que se producen no medio. A primeira delas, a reacción (4), é en realidade un conxunto de dúas reaccións ácido-base; cando se engade o hidróxido cálcico á disolución de amina, este disóciase liberando o grupo hidroxilo (OH<sup>-</sup>), que reacciona cos ácidos do medio, que son a amina protonada e o bicarbonato (tal e como ditan os mecanismos de reacción de absorción de CO<sub>2</sub> representados na Figura 8).



Ao liberarse o anión carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) ao medio, reacciona co catión calcio (Ca<sup>2+</sup>) para dar lugar a un precipitado de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) que presenta unha solubilidade en medio acuoso moi reducida (0.0013 g CaCO<sub>3</sub> por cada 100 mL disolución), segundo a reacción (5):



Esta metodoloxía permite un aforro de enerxía considerable ao producirse a temperatura ambiente, e da lugar a un produto que se pode valorizar economicamente; o CaCO<sub>3</sub> ten múltiples usos en industrias diversas (agroalimentaria, pinturas, adhesivos, polímeros, farmacéutica, etc.).

#### REXENERACIÓN POR INTERCAMBIO IÓNICO

Os procesos de intercambio iónico que empregan resinas iónicas empréganse actualmente no tratamento de augas, na industria farmacéutica, nuclear, etc. A súa aplicación na rexeneración de aminas baséase en facer pasar a disolución de amina protonada a través dun leito de resina

aniónica (básica), xerando así unha reacción ácido-base que desprotona a amina, permitindo de novo o seu uso na absorción de CO<sub>2</sub>.

O principal problema desta tecnoloxía a nivel industrial radica no elevado custe de capital que representa a resina; a pesar desta inversión, a súa rendibilidade económica supera á dos procesos térmicos convencionais [26].

## 2.5. EQUIPOS DE CONTACTO GAS-LÍQUIDO

Nos reactores gas-líquido un dos compoñentes da fase gas reacciona con algún dos compoñentes da fase líquida, disolvéndose nesta, motivo polo cal as condicións hidrodinámicas, así coma as velocidades de transferencia de materia no gas e no líquido, condicionarán en gran medida o seu funcionamento; ademais, existe un gran número de procesos e reaccións gas-líquido de elevado interese para a industria química, o que leva á existencia de distintos equipos nos que realizar ditos procesos, tal e como se pode ver na Figura 9 [27].

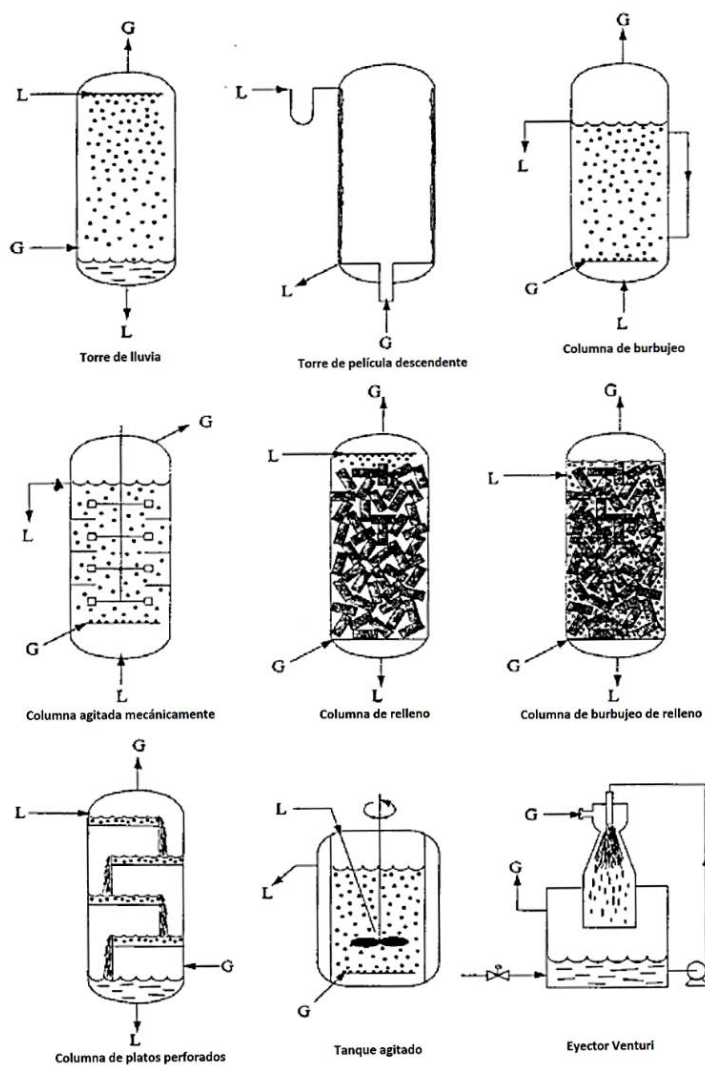


Figura 9. Exemplos de equipos de contacto gas-líquido [9].

A maioría de equipos empregados neste tipo de procesos, ben a nivel industrial ou experimental, responde ante a seguinte clasificación:

- **Equipos nos que o líquido flúe formando unha capa fina:** columnas de película ascendente/descendente e columnas de recheo.
- **Equipos con dispersión de gas na fase líquida:** columnas de burbulleo, reactores de tanque axitado con difusor de gas e columnas de pratos (perforados, de válvulas, etc.).
- **Equipos con dispersión de líquido na fase gas:** exector Venturi, columna de choiva e demais reactores que empreguen difusores de líquido, aerosois, etc.

### 2.5.1. COLUMNA DE BURBULLEO

Unha columna de burbulleo consiste nun recipiente vertical cheo de líquido en cuxa base se atopa un difusor que permite a entrada e dispersión dunha corrente de gas. Deste modo, o gas inxectado na parte inferior do equipo ascende a través do líquido, axitándoo e mesturándoo ao seu paso, mentres que respecto do líquido, o equipo pode operar en dous réximes distintos; no caso de operar en *batch* (en lotes), non existirá nin entrada nin saída da fase líquida, polo que esta só se moverá debido ás correntes inducidas nel polo gas, mentres que se a operación é en continuo, o líquido entrará pola parte inferior/superior e sairá pola superior/inferior (correntes paralelas/contracorrente) [27].

As columnas de burbulleo demostraron ser un tipo de reactor moi eficaz e na actualidade emprégase amplamente na industria química para a absorción de CO<sub>2</sub>, xa que ofrecen varias vantaxes: boa capacidade para o control da temperatura, elevada transferencia de materia, baixo coste de mantemento en comparación con outros reactores gas-líquido (xa que non se precisan dispositivos mecánicos adicionais de mestura interna debido ao alto grao de mestura das fases existente), etc. [9].

Na absorción de CO<sub>2</sub>, o caudal de líquido que pasa a través da columna é baixo en comparación co caudal de gas, sendo este último, xunto cos fenómenos de coalescencia da fase líquida, un dos parámetros máis importante da transferencia de materia, pois deles depende a área de interfase na que se produce a transferencia de materia. O gas que ascende dentro da columna arrastra líquido, que tende posteriormente a moverse cara o inferior do equipo, formando así o patrón de fluxo característico que pode apreciarse na Figura 10. As burbullas máis grandes e o líquido arrastrado tenden a ascender polo centro da columna, o que fai que o líquido cerca das paredes da columna se mova en sentido descendente, arrastrando consigo pequenas burbullas.

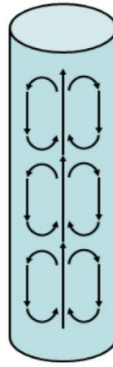


Figura 10. Patrón de fluxo da fase líquida [9].

Debido aos procesos de mestura interna derivados deste patrón de fluxo, na dirección radial da columna non existirán gradientes de concentración.

Dependendo dos patróns que describa o fluxo de gas, defínense os diferentes réximes de operación representados na Figura 11. A caudais de gas baixo, as burbullas distribúense uniformemente no líquido, describindo un fluxo en réxime homoxéneo, pero cando o caudal de gas é demasiado elevado prodúcense fenómenos de coalescencia que dan lugar a grandes burbullas que ascenden máis rápido, provocando un fluxo en réxime heteroxéneo, que pode ser turbulento ou de tipo babosa. O fluxo de tipo babosa adoita producirse en columnas estreitas, como é o caso das columnas de burbulleo empregadas a escala de laboratorio, e xorde froito da estabilización das burbullas grandes na parede do equipo, dando lugar a un ascenso de gas en forma de fluxo en pistón.

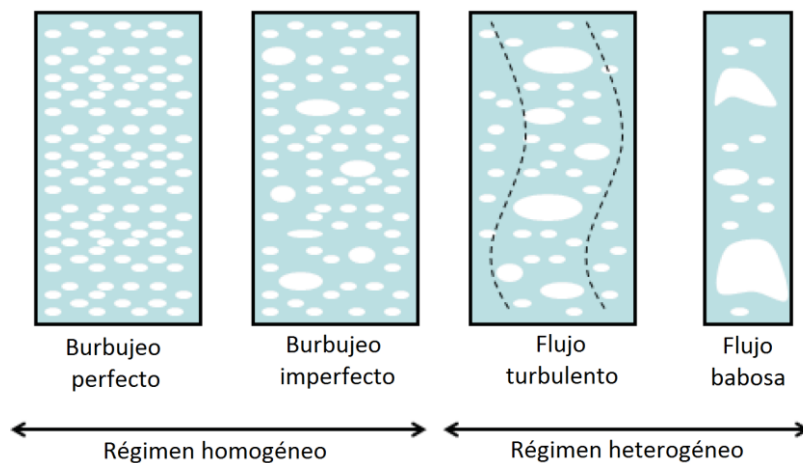


Figura 11. Réximes de fluxo para o gas nun reactor de burbulleo [9].

## 2.6. RISCOS E MEDIO AMBIENTE

As principais indicacións de perigo para a saúde e o medio ambiente que implica o uso das aminas convencionais e en investigación actualmente recóllense a continuación na Táboa 1 [28].





Táboa 1. Resumo das indicacións de perigo dos reactivos empregados habitualmente na captura de CO<sub>2</sub> [28].

Substancia química	Indicacións de perigo	Tipo de disolvente
<b>Etanolamina (MEA)</b>	INCENDIO: Combustible. En caso de incendio despréndense fumes (ou gases) tóxicos e irritantes. EXPLOSIÓN: Por encima de 85°C poden formarse mesturas explosivas vapor/aire. INHALACIÓN: Tose, dor de cabeza, dor de garganta. CONTACTO DIRECTO: Irritación, dor e queimaduras en pel e ollos (cutáneas na pel e profundas graves nos ollos). INXESTA: Dor abdominal, sensación de queimazón, shock ou colapso.	Disolvente químico
<b>Dietanolamina (DEA)</b>	INCENDIO: Combustible. CONTACTO DIRECTO: Irritación, dor e queimaduras profundas graves nos ollos. INXESTA: Dor abdominal, sensación de queimazón. AMBIENTE: Substancia nociva para os organismos acuáticos.	
<b>N-metildietanolamina (MDEA)</b>	INCENDIO: Combustible. INHALACIÓN: Tose, náuseas, dor de garganta. CONTACTO DIRECTO: Irritación e dor en pel e ollos. INXESTA: Náuseas, diarrea e vómitos.	
<b>Diglicolamina (DGA)</b>	CONTACTO DIRECTO: Irritación, dor e queimaduras severas en pel e ollos.	
<b>Trietanolamina (TEA)</b>	INCENDIO: Combustible. En caso de incendio despréndense fumes (ou gases) tóxicos e irritantes. INHALACIÓN: Tose. Dor de garganta. CONTACTO DIRECTO: Irritación de pel e ollos.	
<b>Carbonato de propileno (PC)</b>	CONTACTO DIRECTO: Irritación ocular grave.	Disolvente físico
<b>Metanol</b>	INCENDIO: Altamente inflamable. EXPLOSIÓN: As mesturas vapor/aire son explosivas. INHALACIÓN: Tose, vertixe, dor de cabeza, náuseas, debilidade, alteracións da vista. CONTACTO DIRECTO: ¡PODE ABSORBERSE! Pel seca, irritación de pel e ollos, dor de ollos. INXESTA: Dor abdominal, vómitos, convulsións, perda do coñecemento.	
<b>Sulfolano</b>	INXESTA: Nocivo.	

A Táboa 2 resume as principais indicacións de perigo e pictogramas dos reactivos usados durante a realización deste Traballo Fin de Máster, extraendo a información das Fichas de

Seguridade aportadas polo subministrador de cada un dos produtos, que se recollen no *Anexo I. Fichas de Seguridade.*

Táboa 2. Resumo das indicacións de perigo e pictogramas dos reactivos empregados neste Traballo Fin de Máster [29], [30], [31].

Substancia química	Indicacións de perigo	Pictogramas
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	H281: Contén un gas refrixerado; pode causar queimaduras ou lesións crioxénicas. Pode desprazar o osíxeno e causar sufocación rápida. Pode aumentar a frecuencia cardíaca e respiratoria.	
<b>N,N-Dimetiletanolamina (DMEA)</b>	H226: Líquidos e vapores inflamables. H302 + H312: Nocivo en caso de ingestión ou contacto coa pel. H314: Provoca queimaduras graves na pel e lesións oculares graves. H331: Tóxico en caso de inhalación.	
<b>N,N-Dimetiletilendiamina (DMEN)</b>	H225: Líquido e vapores moi inflamables. H302: Nocivo en caso de ingestión. H312: Nocivo en contacto coa pel. H314: Provoca queimaduras graves na pel e lesións oculares graves.	
<b>Etanolamina (MEA)</b>	H302 + H312 + H332: Nocivo en caso de ingestión, contacto coa pel ou inhalación H314: Provoca queimaduras graves na pel e lesións oculares graves. H335: Pode irritar as vías respiratorias. H412: Nocivo para os organismos acuáticos, con efectos nocivos duradeiros.	



## 3. MÉTODO EXPERIMENTAL



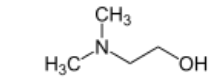
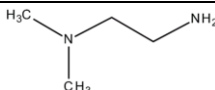
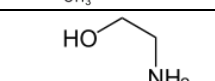
### 3. MÉTODO EXPERIMENTAL

#### 3.1. MATERIAIS E EQUIPO

##### 3.1.1. COMPOSTOS QUÍMICOS

A Táboa 3 recolle as principais propiedades físicas dos compostos químicos empregados neste Traballo Fin de Máster (dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>, *N,N*-dimetiletanolamina – DMEA, *N,N*-dimetiletilendiamina – DMEN e etanolamina – MEA), indicando ademais a empresa provedora da mesma, sendo *M* a masa molar da substancia e *T<sub>fu</sub>* e *T<sub>eb</sub>* as temperaturas de fusión e ebulición, respectivamente.

Táboa 3. Datos relevantes dos compostos empregados [29], [30], [31].

Substancia química	Provedor	Fórmula (Química / Semidesenvolta)	<i>M</i> (g/mol)	Pureza	<i>T<sub>fu</sub></i> (°C)	<i>T<sub>eb</sub></i> (°C)
CO <sub>2</sub>	Carburos Metálicos (Air Products)	CO <sub>2</sub> O=C=O	44.00	≥99.0%	-78.5	-56.6
DMEA	Sigma-Aldrich	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> NO 	89.14	≥98.0%	-70.0	134.0
DMEN	Sigma-Aldrich	C <sub>4</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> 	88.15	95.0%	-	104.0
MEA	Sigma-Aldrich	C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> NO 	61.08	≥99.0%	10.0	170.0

A fase gasosa empregada nos estudos realizados constitúea unicamente o CO<sub>2</sub>, mentres que as fases líquidas son disolucións acuosas das aminas empregadas (ben de xeito individual ou en mesturas) que se realizaron empregando auga desionizada.

##### 3.1.2. EQUIPO EXPERIMENTAL

Durante a realización do presente Traballo Fin de Máster empregouse unha ampla variedade de material de laboratorio e equipos especializados:

- **EPI<sup>5</sup>s:** para evitar posibles derrames de compostos químicos sobre a pel empregáronse, tanto durante a preparación das disolucións coma durante a súa carga/descarga no reactor, guantes de nitrilo, gafas de seguridade e bata de laboratorio. Tamén se empregaron luvas de protección térmica naquelas operacións nas que estiveron involucrados equipos a alta temperatura.
- **Vitrina de vidro con campá extractora:** para levar a cabo as disolucións das diferentes aminas estudadas para a absorción de CO<sub>2</sub> e evitar posibles vapores formados ou liberados durante a preparación das mesmas, empregouse unha vitrina de vidro con campá de extracción de gases Burdinola OR-ST 1500.

<sup>5</sup> Equipo de Protección Individual.

- **Material de vidro:** matraz aforado de 250 mL, 1 L e 2 L, vasos de precipitados de 50 e 300 mL, frascos para almacenamento de mostras de 250 mL, funil, tubos de ensaio de 5 mL, condensador Dimroth de 30 cm de lonxitude, columna vigreux de 3 x 50 cm (diámetro x altura), columna de recheo 3 x 50 cm (diámetro x altura), bolas de recheo de 7 mm de diámetro, intercambiador de calor de tubos concéntricos de 100 mL de capacidade no tubo interno e 3.5 x 50 cm (diámetro x altura) do tubo externo, adaptadores de conexión macho-femia, conexións en T, depósito de vidro de 1.5 L, etc.
- **Material de plástico:** empregáronse vasos de precipitado de 5 L para a descarga das disolucións cargadas ao reactor, e para a realización de lavados do equipo con auga desionizada tras cada experimento, indicador de fluxo de auga de refrixeración, etc.
- **Balanza:** para pesar as cantidades necesarias para a preparación das distintas disolucións, empregouse unha balanza COBOS D-600 de precisión  $\pm 0.1$  g.
- **Reactor de burbulleo:** todos os experimentos levados a cabo realizáronse nunha columna de burbulleo de metacrilato de sección transversal cadrada cunhas dimensións de 4 x 4 x 65 cm (longo x ancho x alto) e un volume de 900 mL. Na parte inferior do mesmo atópase un difusor de teflón de cinco orificios para a entrada da fase gasosa, mentres que na parte lateral se dispón dunha conexión para a alimentación da fase líquida e/ou a toma de mostras.
- **Caudalímetros:** empregáronse dous caudalímetros máxicos Alicat Scientific para controlar o caudal de CO<sub>2</sub> á entrada do equipo (MC-5SLMP-D) e medir o CO<sub>2</sub> á saída do mesmo (M-5SLMP-D), permitindo os datos aportados por estes equipos coñecer cuantitativa e cualitativamente o proceso de absorción con cada disolvente estudado.
- **Software:** durante a realización do Traballo Fin de Máster empregáronse diferentes softwares:
  - Flow Vision 1.1.29.0: para o control dos caudalímetros e recompilación dos datos medidos polos mesmos.
  - MestrReC 4.7: para o procesado dos espectros obtidos por espectrometría de RMN.
  - Paquete Microsoft Office 2013: para a realización das operacións matemáticas indicadas no presente documento, para a realización dos diagramas das montaxes para os experimentos levados a cabo e para a redacción do presente documento.
  - GraFit 5.0.5: para a realización das representacións gráficas recollidas no apartado “4. Resultados e discusión” e para a Figura 15.
- **Cinta calefactora J. P. Selecta 3031710:** cinta de 1 m de lonxitude e 210 W de potencia empregada para elevar a temperatura do disolvente nos experimentos de captura/ rexeneración en continuo.
- **Regulador electrónico J. P. Selecta Electemp-TFT:** empregado como elemento de subministro e control da potencia da cinta calefactora.
- **Termómetro de contacto electrónico J. P. Selecta Sensoterm II 1001009:** sensor indicador da temperatura e elemento de control en conxunto co equipo anterior, de  $\pm 1^\circ\text{C}$  de precisión.
- **Bomba peristáltica J. P. Selecta Percom N-M:** empregada como elemento impulsor do fluído nos experimentos de captura/ rexeneración en continuo.

- **Placa calefactora J. P. Selecta Agimatic – N:** empregada como fonte de calor para a rexeneración do disolvente nos experimentos de captura/ rexeneración en continuo.
- **Baños termostatzados J. P. Selecta Frigiterm:** para arrefriar o disolvente nos experimentos de captura/ rexeneración en continuo.
- **pH-metro Crison BasiC 20:** empregado para a medida do pH cunha precisión de  $\pm 0.01$  trala rexeneración e arrefriamento do disolvente nos experimentos de captura/ rexeneración en continuo.
- **Termómetro Delta OHM HD 2107.1:** termómetro Pt100 de  $\pm 0.01^\circ\text{C}$  de precisión empregado para medir a temperatura trala rexeneración e arrefriamento do disolvente nos experimentos de captura/ rexeneración en continuo.
- **Estufa Binder FD-115:** usado para secar o material de vidro empregado na elaboración das disolucións estudadas.
- **Espectrómetro de RMN Varian Mercury 300:** para a obtención dos espectros recollidos no apartado “4.2. Estudos de Mecanismo de Reacción” que permiten a determinación dos diferentes mecanismos de reacción para a absorción de CO<sub>2</sub> con cada disolvente.

### 3.2. METODOLOXÍA EN ESTUDOS DE ABSORCIÓN

Os experimentos de absorción leváronse a cabo en réxime continuo respecto da fase gas e en *batch* respecto da fase líquida, tal e como se pode ver na montaxe representada na Figura 12.

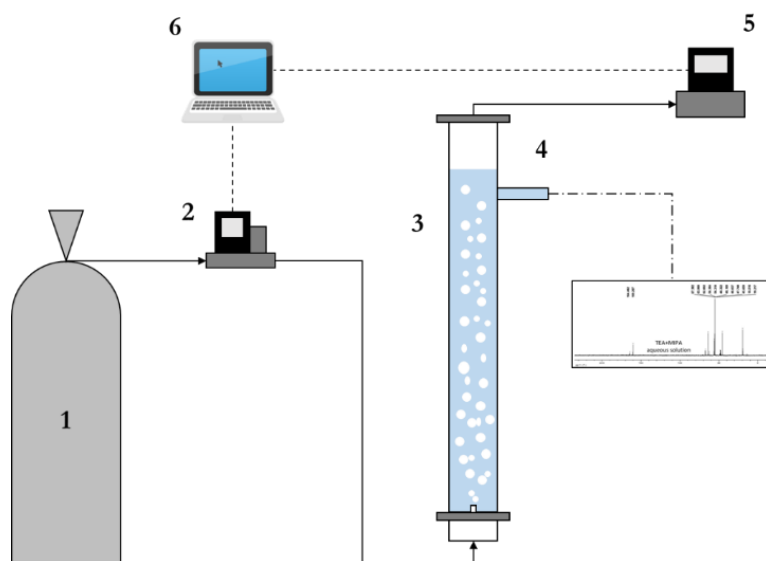


Figura 12. Montaxe para estudos de absorción: (1) bombona de CO<sub>2</sub> (2) MC-5SLMP-D : controlador de caudal máscico de CO<sub>2</sub> á entrada do reactor (3) reactor de burbulleo de sección cadrada (4) conexión para toma de mostrás (5) M-5SLMP-D: medidor de caudal máscico de CO<sub>2</sub> á saída do reactor (6) ordenador para o rexistro de datos e manexo do controlador.

Como primeiro paso cárgase a columna de burbulleo (3) co disolvente cuxa capacidade para a absorción de CO<sub>2</sub> se quere estudar; xa que durante este tipo de experimentos non se toman mostrás, emprégase a conexión (4) para a carga do reactor ata acadar un volume de 900 mL de

disolvente, non tendo así que desmontar a parte superior do mesmo. Unha vez aberta a válvula da bombona de CO<sub>2</sub> (1), mediante o uso do software *Flow Vision* selecciónase un caudal de entrada de CO<sub>2</sub> no controlador (2) e mídese o caudal á saída da columna de burbulleo mediante o caudalímetro (5), rexistrándose estes últimos valores no ordenador (6) cada 20 s.

Para a preparación das disolucións acuosas de cada unha das concentracións estudadas para as diferentes aminas débese ter en conta a pureza das mesmas (%*pureza*), a súa masa molar ( $M$ , en g·mol<sup>-1</sup>), o volume que se quere preparar ( $V$ , en L) e a concentración de amina desexada ( $C_B$ , en mol·L<sup>-1</sup>), resultando a masa necesaria de cada composto ( $m$ , en g) segundo indica a ecuación (1):

$$m = \frac{M \cdot V \cdot \%_{\text{pureza}}}{C_B} \quad (1)$$

A cantidade de auga desionizada precisada para xerar os distintos disolventes foi adicionada nun matraz aforado sobre as aminas ata acadar o volume axeitado.

Durante a realización dos experimentos de absorción de CO<sub>2</sub>, o medidor de caudal M-5SLMP-D rexistra os valores do caudal de gas á saída ( $Q_{G(\text{saída})}$ , en L·min<sup>-1</sup>). Isto, xunto co valor do caudal de gas á entrada fixado polo controlador MC-5SLMP-D ( $Q_G$ , en L·min<sup>-1</sup>) permite coñecer o caudal de gas absorbido ( $Q_{G(\text{abs})}$ , en L·min<sup>-1</sup>) polo disolvente, cun simple balance de materia segundo a ecuación (2):

$$Q_{G(\text{abs})} = Q_G - Q_{G(\text{saída})} \quad (2)$$

Aplicando a lei dos gases ideais e o factor de conversión de minutos a segundos pódese obter o valor do caudal molar de gas absorbido ( $N_A$ , en mol·s<sup>-1</sup>), segundo indica a ecuación (3):

$$N_A = \frac{P \cdot Q_{G(\text{abs})}}{R \cdot T \cdot \left(60 \frac{\text{s}}{\text{min}}\right)} \quad (3)$$

Onde:

- P: presión (atm).
- R: constante dos gases ideais (L·atm·(K·mol)<sup>-1</sup>).
- T: temperatura (K).

A representación de  $N_A$  fronte ao tempo ( $t$ , en s) dá lugar a unha curva que se denominará cinética de absorción. O valor da área baixo esta curva representada ata un determinado tempo ( $t_i$ , en s) será a cantidade de gas absorbido acumulado ( $mol\ CO_2(\text{abs})(t_i)$ , en mol); para coñecer este valor en cada medida tomada, realízase a integral numérica do caudal molar de gas absorbido aplicando a regra do trapecio tal e como se ve na ecuación (4):

$$\text{mol CO}_{2(\text{abs})}(t_i) = \int_0^{t_i} N_A(t) dt \approx \frac{\Delta t}{2} [N_A(0) + 2 \cdot N_A(\Delta t) + 2 \cdot N_A(2 \cdot \Delta t) + \dots + N_A(t_i)] \quad (4)$$

Onde:

- $t_i$ : tempo ao que foi realizada a medida (s).
- $\Delta t$ : tempo entre cada medida (s).

Coñecer a cantidade de gas absorbida en cada momento posibilita o cálculo da relación molar entre o gas absorbido e os grupos amino presentes no disolvente (*mol grupo amino*, en mol e que se calcula segundo a ecuación (5)); este parámetro, denominado carga de CO<sub>2</sub> ( $\alpha$ ), vén definido segundo a ecuación (6)<sup>6</sup>:

$$\text{mol grupo amino} = C_B \cdot V \quad (5)$$

$$\alpha(t_i) = \frac{\text{mol CO}_{2(\text{abs})}(t_i)}{\text{mol grupo amino}} \quad (6)$$

Este parámetro é amplamente empregado en estudos de absorción química xa que permite a comparación de distintos disolventes e a súa relación no mecanismo de reacción.

Xa que a montaxe consta de equipos con partes desmontables e distintas conexións, para minimizar o risco de que se producise algunha fuga dun composto químico, leváronse a cabo experimentos de absorción seguindo a metodoloxía descrita, empregando como único disolvente auga desionizada; ademais, os datos obtidos pódense empregar para establecer unha posible comparación entre a absorción de CO<sub>2</sub> en auga e en disolucións acuosas de aminas, xa que como se dixo no apartado “2.2.1. *Captura Post-Combustión*”, a auga é un disolvente físico de posible uso na captura de CO<sub>2</sub> en procesos de captura post-combustión.

Para cumprir os obxectivos expostos no primeiro apartado desta memoria, realizáronse experimentos utilizando disolucións de distintas concentracións de cada un dos compostos a estudar; a maiores, no caso da mestura acuosa formada por MEA e DMEA, variouse a proporción de amina primaria e terciaria, para estudar como afecta a composición da mestura ao proceso de absorción<sup>7</sup>. Os experimentos para cada concentración leváronse a cabo, maioritariamente, a tres caudais de gas á entrada do reactor ( $Q_G$ ), podendo así analizar a súa influencia no proceso de

<sup>6</sup> Normalmente a carga de CO<sub>2</sub> calcúlase empregando no denominador o número de moles do composto que reacciona co CO<sub>2</sub>, pero no presente Traballo Fin de Máster considérase de interese o uso do número de moles de grupo amino, xa que se empregan moléculas con distinto número de grupos.

<sup>7</sup> Leváronse a cabo experimentos nos cales o aporte de grupos amino primarios e terciarios é o mesmo (proporción de MEA e DMEA do 50%) e experimentos nos cales, do total de grupos amino presentes no disolvente o 83.3% son primarios (procedentes de MEA) e o 16.7% terciarios (procedentes de DMEA).

absorción. Na Táboa 4 recóllese un índice de todos os experimentos realizados para o estudo da absorción de CO<sub>2</sub>.

As únicas excepcións en canto á tendencia de estudar tres concentracións a tres caudais radican nos estudos da absorción de CO<sub>2</sub> con disolucións acuosas de MEA e DMEA por separado. Isto débese á tendencia actual do estudo de aminas mixtas, que aportan mellores resultados que o uso de aminas individuais [16], [17]. Ademais, investigacións recentes [32] amosan que a existencia de radicais alquilo nas aminas aumenta a densidade electrónica e polo tanto a súa velocidade de absorción e que a presenza de grupos hidroxilo aumenta a súa solubilidade en auga e reduce a súa volatilidade, mellorando así a operación global.

Táboa 4. Experimentos de absorción de CO<sub>2</sub> realizados.

Disolvente químico	Concentración (M)	Q <sub>G</sub> (L·min <sup>-1</sup> )
<b>DMEN</b>	0.1	0.130
		0.230
		0.330
	0.3	0.130
		0.230
		0.330
	0.6	0.130
		0.230
		0.330
<b>MEA</b>	0.6	0.330
<b>DMEA</b>	0.6	0.330
<b>MEA (50%) + DMEA (50%)</b>	0.2	0.130
		0.230
		0.330
	0.6	0.130
		0.230
		0.330
	1.2	0.130
		0.230
		0.330
<b>MEA (83.3%) + DMEA (16.7%)</b>	0.2	0.130
		0.230
		0.330
	0.6	0.130
		0.230
		0.330
	1.2	0.130
		0.230
		0.330

Tal e como se aprecia na Táboa 4, as disolucións de DMEN preparadas teñen unha concentración molar da metade dos valores estudados para os demais compostos (0.1, 0.3 e 0.6 M en lugar de 0.2, 0.6 e 1.2 M) pois cada molécula de DMEN consta de dous grupos amino, facendo

que a concentración molar en grupos amino sexa do dobre que a concentración en DMEN, e polo tanto, equivalente á dos demais experimentos cos que se establecen comparacións.

### 3.3. METODOLOXÍA EN ESTUDOS DE MECANISMO DE REACCIÓN

A metodoloxía dos experimentos realizados para determinar os mecanismos de reacción nos procesos de absorción de CO<sub>2</sub> cos distintos disolventes é similar á dos experimentos de absorción, tal e como se pode ver na Figura 13, exceptuando o feito de que se rexistran os valores de pH empregando un pH-metro (5) a distintos tempos de experimento en lugar de rexistrar o caudal de CO<sub>2</sub> á saída do reactor. Isto débese a que xa se dispón dos datos do caudal de CO<sub>2</sub> á saída do reactor nos propios experimentos de absorción, e ademais o pH do medio de reacción está ligado aos mecanismos de reacción habituais, tanto para aminas primarias coma terciarias (como se ve na Figura 8). O rexistro do valor do pH a distintos tempos permitirá establecer unha relación carga-pH para cada disolvente, que será de gran utilidade nos posteriores estudos de captura/ rexeneración en continuo.

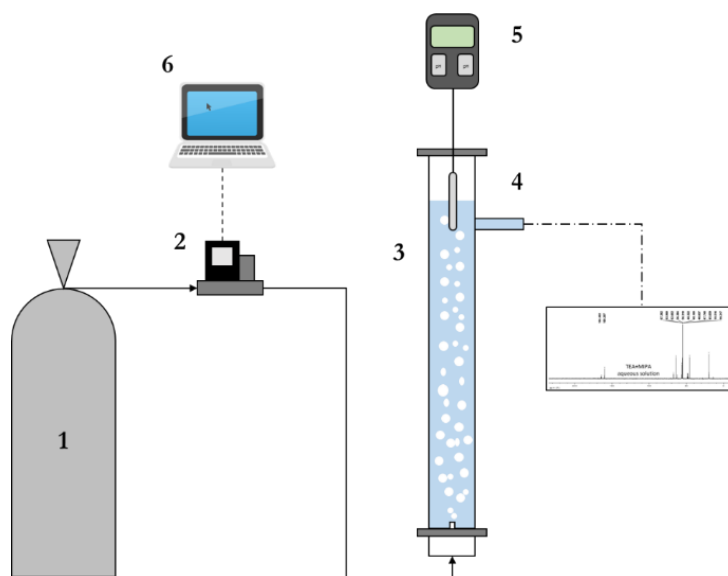


Figura 13. Montaxe para estudos de mecanismo de reacción: (1) bombona de CO<sub>2</sub>, (2) MC-5SLMP-D: controlador de caudal máscico de CO<sub>2</sub> á entrada do reactor, (3) reactor de burbulleo de sección cadrada, (4) conexión para toma de mostras, (5) pH-metro BasiC 20 e (6) ordenador para o manexo do controlador.

Empregando a conexión da columna de burbulleo (4) extráense alicuotas de 5 mL da zona central do reactor a determinados tempos de experimento para, posteriormente, caracterizalas mediante a espectroscopía RMN de hidróxeno (<sup>1</sup>H) e carbono (<sup>13</sup>C) a temperatura ambiente, coñecendo así que compostos se están formando debido á absorción de CO<sub>2</sub>. Ás alicuotas extraídas engádeselle auga deuterada (D<sub>2</sub>O) e metanol deuterado ou metanol tetradeuterado (CH<sub>3</sub>OD ou CD<sub>3</sub>OD), que servirán como patróns de referencia no procesado de <sup>1</sup>H e <sup>13</sup>C respectivamente nos espectros que se obteñan, utilizando o software *MestrReC 4.7*.

Seguindo esta metodoloxía lévanse a cabo os experimentos listados na Táboa 5:

Táboa 5. Experimentos de mecanismo de reacción realizados.

Disolvente químico	Concentración (M)	Q <sub>G</sub> (L·min <sup>-1</sup> )
DMEN	0.3	0.330
MEA (50%) + DMEA (50%)	0.6	0.330
MEA (83.3%) + DMEA (16.7%)	0.6	0.330

Os espectros de RMN indican distintos sinais e valores de desprazamento químico ( $\delta$ , en ppm) para cada composto presente no medio analizado; a comparación destes sinais cos patróns de referencia e cos sinais correspondentes a cada composto permitirá realizar unha determinación cualitativa do mecanismo de reacción que segue o proceso de absorción de CO<sub>2</sub> en cada disolvente, así coma da relación deste mecanismo co valor de da carga de CO<sub>2</sub> acadado.

### 3.4. METODOLOXÍA EN ESTUDOS DE CAPTURA/REXENERACIÓN EN CONTINUO

Os experimentos de captura/ rexeneración leváronse a cabo en réxime continuo tanto respecto ao gas coma respecto ao líquido, empregando a montaxe amosada na Figura 14.

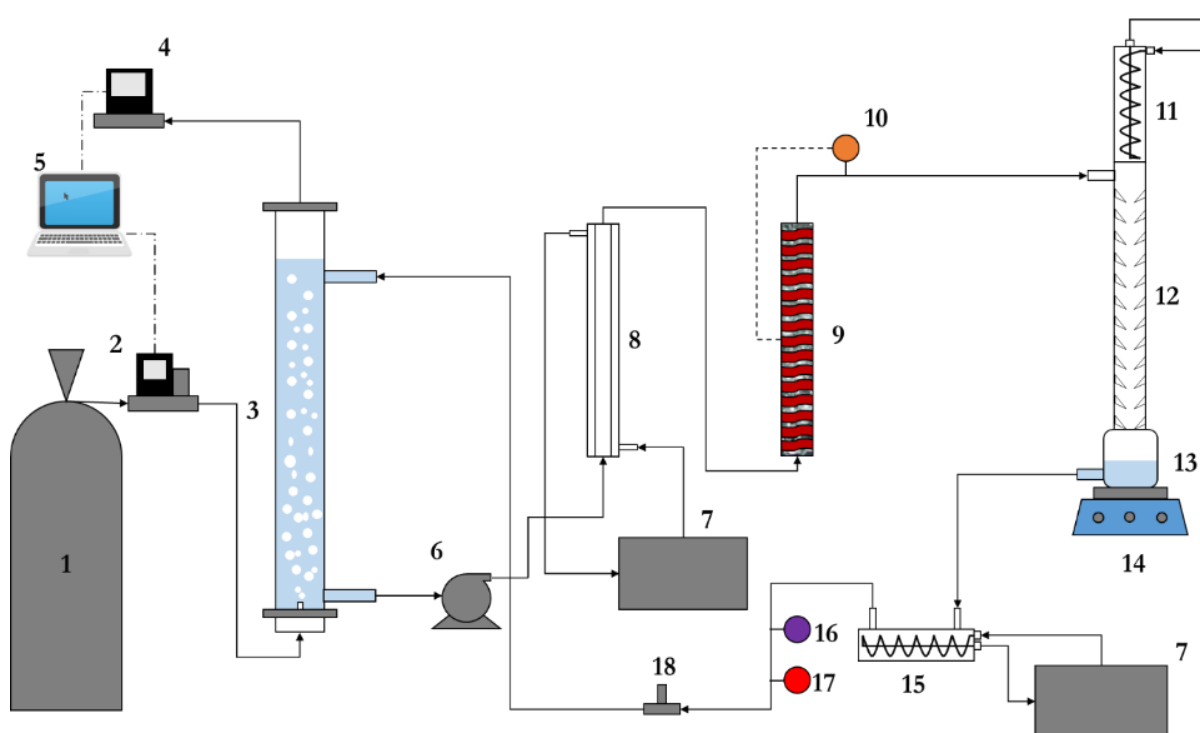


Figura 14. Montaxe para estudos de rexeneración: (1) bombona de CO<sub>2</sub>, (2) MC-5SLMP-D: controlador de caudal máscico de CO<sub>2</sub> á entrada do reactor, (3) reactor de burbulleo de sección cadrada, (4) M-5SLMP-D: medidor de caudal máscico de CO<sub>2</sub> á saída do reactor, (5) ordenador para o rexistro de datos e manexo do controlador, (6) bomba peristáltica Percom N-M, (7) baño termostatzado Frigiterm, (8) intercambiador de calor de tubos concéntricos, (9) columna de recheo con cinta calefactora eléctrica, (10) controlador de temperatura Sensoterm II, (11) condensador, (12) columna de destilación *vigreux*, (13) caldeira, (14) placa calefactora Agimatic-N, (15) intercambiador de calor de serpentín, (16) pH-metro Basic 20, (17) termómetro Delta OHM HD 2107.1, (18) válvula de 3 vías.

Inicialmente cárgase a instalación co disolvente cuxa capacidade para a captura de CO<sub>2</sub> e rexeneración en continuo se quere estudar. A columna de burbulleo (3) sitúase a unha altura tal que o nivel do líquido na caldeira (13) non cause fenómenos de inundación na columna de destilación *vigreux* (12), de forma que se siga mantendo un volume de 900 mL na columna de burbulleo, variando este nivel debido ao principio de vasos comunicantes<sup>8</sup>. A continuación actívese a bomba peristáltica (6) a unha velocidade relativamente elevada para que o líquido circule por toda a instalación, expulsando posibles bolsas de aires que quedasen en algún dos equipos e/ou tubaxes; unha vez a instalación se atopa exclusivamente chea de líquido redúcese a potencia da bomba para propiciar o caudal requirido para cada experimento. Actívese o fluxo de refrixerante no condensador (11) e acéndense a placa calefactora (14), os baños termostatizados (7), a cinta calefactora (9) xunto co seu controlador (10), o pH-metro (16) e o termómetro (17). Dependendo do disolvente empregado e do caudal de líquido, cada experimento requirirá uns valores distintos para as temperaturas de consigna dos baños termostatizados e do controlador da cinta calefactora. Unha vez acadadas as temperaturas requiridas, do mesmo xeito ca nos experimentos de absorción, ábrese a válvula da bombona de CO<sub>2</sub> (1) e mediante o uso do software *Flow Vision* selecciónase un caudal de entrada de CO<sub>2</sub> no controlador (2), dando así lugar ao inicio do experimento de captura/ rexeneración en continuo. Co caudalímetro (4) mídese o caudal de CO<sub>2</sub> á saída da columna de burbulleo e rexístranse, de forma automática, os valores obtidos no ordenador (5) cada 20 s. Unha vez finalizado o experimento apáganse todas as fontes de calor da instalación e córtase a alimentación de CO<sub>2</sub> mantendo a circulación do disolvente para acadar un arrefriamento máis rápida do mesmo ata acadar a temperatura ambiente, momento no cal se apagan todos os equipos da instalación e se retira o disolvente da mesma a través da válvula de tres vías (18).

Durante os experimentos tómanse valores do pH a diferentes tempos. Estes valores, en conxunto coa relación carga-pH obtida nos experimentos realizados para a determinación do mecanismo de reacción (apartado 3.3 do presente documento) permitirá coñecer a carga de CO<sub>2</sub> do disolvente trala súa rexeneración térmica na caldeira.

A rexeneración térmica causa a evaporación de parte do disolvente, que condensa e retorna á caldeira; por este motivo é preciso elevar a temperatura da corrente que chega á caldeira para non interromper a ebulición e por tanto a rexeneración do disolvente. Tras consultar fontes bibliográficas [33] chegouse á conclusión de que esta temperatura debería estar comprendida entre 75 e 90°C. Isto lévase a cabo mediante tres intercambios de calor previos á caldeira:

---

<sup>8</sup> Este paso previo á experimentación realízase unicamente unha vez, antes do primeiro experimento de captura/ rexeneración en continuo levado a cabo.

- **Intercambiador de calor de tubos concéntricos (8):** emprega como fluído quente auga a alta temperatura provinte dun dos baños termostatizados.
- **Columna de recheo con cinta calefactora eléctrica (9):** o recheo cumpre a función de aumentar a mestura do fluído dentro deste equipo e reducir o volume de disolvente necesario para encher por completo a instalación. Neste equipo a calor é subministrada por unha cinta calefactora cun principio de funcionamento baseado no efecto Joule, e cuxa potencia eléctrica se auto-regula tendo en conta a diferenza entre a temperatura á saída da columna de recheo e o valor da temperatura de consigna introducida no controlador da mesma (10).
- **Columna de destilación *vigreux*:** o propio contacto entre o disolvente que descende ata a caldeira por este equipo, en estado líquido, e o disolvente evaporado nela, propicia un ascenso da temperatura do disolvente que chega á caldeira.

Trala rexeneración, o disolvente abandona a caldeira a elevada temperatura polo que, para levar a cabo a absorción, se debe arrefriar ata a temperatura ambiente, considerada de 25°C; isto conséguese no intercambiador de calor de serpentín (15) que emprega como fluído frío auga refrixerada provinte dun dos baños termostatizados.

Para a selección dos valores do caudal de líquido a estudar ( $Q_L$ , en mL·s<sup>-1</sup>), observouse a que tempos de experimento de absorción de CO<sub>2</sub> (en *batch* para o líquido) se obtiveron os valores típicos de carga de CO<sub>2</sub> cos que se adoita traballar neste tipo de procesos, normalmente comprendidos entre 0.3 e 0.4 mol CO<sub>2</sub>(abs)·mol grupo amino<sup>-1</sup> [34]; este valor do tempo, trasladado a un experimento en réxime continuo, dá lugar ao denominado tempo de residencia do líquido no reactor ( $\tau_L$ , en s), e partindo deste tempo e do volume do disolvente no reactor ( $V_R$ , en mL), pódese determinar o caudal de líquido segundo a ecuación (7):

$$Q_L = \frac{V_R}{\tau_L} \quad (7)$$

A bomba peristáltica coa que se impulsa o disolvente permite só a regulación da velocidade de xiro do motor ( $\omega$ , en rpm), polo que se levou a cabo un calibrado da mesma para poder seleccionar de xeito directo o caudal de líquido desexado; a representación gráfica deste calibrado obsérvase na Figura 15.

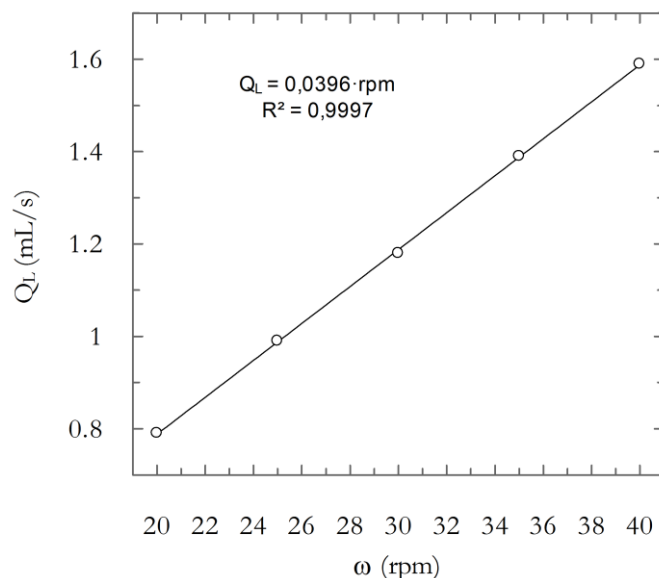


Figura 15. Calibrado da bomba peristáltica empregada nos experimentos de captura/ rexeneración en continuo.

Mediante os valores do pH do disolvente rexistrados antes da súa entrada na columna, empregando os axustes correspondentes (Figura 33, Figura 35 ou Figura 40 segundo se trate de MEA(50%) + DMEA(50%), MEA(83.3%) + DMEA(16.7%) ou DMEN respectivamente), pódese coñecer o valor da carga de CO<sub>2</sub> do disolvente antes da absorción, é dicir, trala rexeneración ( $\alpha_{tras\ rex}$ ).

Para coñecer o valor da carga de CO<sub>2</sub> trala absorción, isto é, antes da rexeneración ( $\alpha_{antes\ rex}$ ) emprégase a ecuación (8)<sup>9</sup>:

$$\alpha_{antes\ rex} = \frac{N_A \cdot \tau_L}{V_R \cdot C_B} + \alpha_{tras\ rex} \quad (8)$$

Coñecendo estes dous parámetros pódense obter a carga neta de CO<sub>2</sub> acadada polo disolvente tralo seu paso pola columna ( $\alpha_{columna}$ ) e a porcentaxe de rexeneración (%<sub>rex</sub>) mediante as ecuacións (9) e (10) respectivamente:

$$\alpha_{columna} = \alpha_{antes\ rex} - \alpha_{tras\ rex} \quad (9)$$

$$\%_{rex} = \frac{\alpha_{tras\ rex}}{\alpha_{antes\ rex}} \cdot 100 \quad (10)$$

<sup>9</sup> Neste caso, a concentración do disolvente, C<sub>B</sub>, exprésase referida aos grupos amino, polo que no caso dunha disolución 0.3 M de DMEN, o valor de C<sub>B</sub> é 0.6 M.

Seguindo esta metodoloxía lévanse a cabo os experimentos listados na Táboa 6:

Táboa 6. Experimentos de captura/ rexeneración en continuo realizados.

Disolvente químico	Concentración (M)	Q <sub>L</sub> (mL·s <sup>-1</sup> )	Q <sub>G</sub> (L·min <sup>-1</sup> )
<b>DMEN</b>	0.3	1.59	0.130
			0.230
			0.330
		1.19	0.130
			0.230
			0.330
	0.79	0.130	
		0.230	
		0.330	
<b>MEA (50%) + DMEA (50%)</b>	0.6	1.59	0.130
			0.230
			0.330
		1.19	0.130
			0.230
			0.330
	0.79	0.130	
		0.230	
		0.330	
<b>MEA (83.3%) + DMEA (16.7%)</b>	0.6	1.59	0.130
			0.230
			0.330
		1.19	0.130
			0.230
			0.330
	0.79	0.130	
		0.230	
		0.330	

## 4. RESULTADOS E DISCUSIÓN



## 4. RESULTADOS E DISCUSIÓN

Xa que neste Traballo Fin de Máster se persegue o obxectivo de levar a cabo un estudo sobre o proceso de captura/rexeneración de CO<sub>2</sub> por absorción en distintos disolventes químicos, entre eles unha diamina, cando se indica a concentración dun disolvente nos resultados obtidos, o valor estará referido á concentración en grupos amino do mesmo, indicándose a continuación a composición de dito disolvente<sup>10</sup>.

### 4.1. ESTUDOS DE ABSORCIÓN

Tal e como se indicou no apartado “3.2. Metodoloxía en Estudos de Absorción”, os experimentos levados a cabo para o estudo da absorción de CO<sub>2</sub> centran o seu interese na comprensión de como afectan no proceso tres parámetros:

- **Concentración dos disolventes empregados:** cada disolvente estúdase a concentracións de grupo amino de 0.2, 0.6 e 1.2 M.
- **Caudal de CO<sub>2</sub> alimentado:** estúdase a absorción comunicando caudais de 0.330, 0.230 e 0.130 L·min<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>.
- **Natureza do disolvente:** estúdanse disolventes de dúas naturezas distintas; alcanolaminas (MEA, DMEA e a mestura das mesmas) e unha diamina (DMEN).

A absorción de CO<sub>2</sub> empregando este tipo de disolventes químicos encádrase no réxime de reacción rápida respondendo, segundo a teoría de Danckwerts [35] á ecuación (11):

$$N_A = a \cdot C_A^* \cdot \sqrt{k \cdot D_A \cdot C_B + K_L^2} \quad (11)$$

Sendo:

- $a$ : área interfacial gas-líquido.
- $C_A^*$ : solubilidade do CO<sub>2</sub>.
- $D_A$ : difusividade do CO<sub>2</sub>.
- $k$ : constante cinética.
- $K_L$ : coeficiente de transferencia de materia na fase líquida.

Á súa vez, a área interfacial,  $a$ , é un parámetro xa caracterizado anteriormente en estudos hidrodinámicos realizados no reactor de burbulleo empregado neste Traballo Fin de Máster [17],

---

<sup>10</sup> Por exemplo, para unha disolución acuosa de DMEN de concentración 1.2 M en grupos amino indicarase “ $C_B=1.2 M (0.6 M DMEN)$ ”, mentres que para unha disolución acuosa formada pola mestura de MEA e DMEA de concentración 1.2 M en grupos amino se indicará “ $C_B=1.2 M (0.6 M MEA, 0.6 M DMEA)$ ” no caso de que a composición sexa do 50% ou “ $C_B=1.2 M (1.0 M MEA, 0.2 M DMEA)$ ” no caso de que a composición sexa do 83.3% en MEA e do 16.7% en DMEA.

[34], dependendo o seu valor de forma directamente proporcional á retención de gas ( $\varepsilon_G$ ) e inversamente proporcional ao diámetro de burbulla ( $d$ ).

Atendendo á ecuación (11) e aos estudos hidrodinámicos previos, pode verse que os tres principais parámetros que se estudan influirán directamente no proceso de absorción, previsiblemente da seguinte forma:

- Un aumento na concentración de amina no disolvente,  $C_B$ , provocará:
  - Un aumento directo do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido,  $N_A$ , debido a unha maior dispoñibilidade de amina para reaccionar e polo tanto un aumento da velocidade de reacción entre o dióxido de carbono e a amina.
  - Un aumento do diámetro de burbulla,  $d$ , o que implica a redución da área interfacial gas-líquido,  $a$ , e polo tanto unha diminución do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido,  $N_A$ .
  - Un aumento na viscosidade,  $\mu$ , que leva a un descenso do coeficiente de transferencia de materia na fase líquida,  $K_L$ , e polo tanto á redución do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido,  $N_A$ .
- Un aumento do caudal de CO<sub>2</sub> alimentado,  $Q_G$ , provocará:
  - Un aumento do diámetro de burbulla,  $d$ , o que implica a redución da área interfacial gas-líquido,  $a$ , e polo tanto unha diminución do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido,  $N_A$ .
  - Un aumento da retención de gas,  $\varepsilon_G$ , que conduce a un incremento da área interfacial gas-líquido,  $a$ , e polo tanto a un aumento do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido,  $N_A$ .
  - Un aumento do coeficiente de transferencia de materia na fase líquida,  $K_L$ , que se traduce nun incremento do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido,  $N_A$ .

Como se indica, o aumento ou redución de calquera destes parámetros estudados ten efectos positivos e negativos sobre a absorción de CO<sub>2</sub>, polo que os estudos realizados neste Traballo Fin de Máster permitirán determinar cal destes efectos prevalece sobre os demais.

Asemade, a propia natureza do disolvente inflúe sobre o proceso de absorción, existindo evidencias de que o uso de mesturas de aminas simples leva a un aumento da viscosidade do disolvente, dificultando así a transferencia de materia e polo tanto a reacción química [36]. Se ben isto é certo no rango de concentracións empregadas a nivel industrial, a caracterización das propiedades físicas dos reactivos empregados neste Traballo Fin de Máster [37] indica que no rango de concentracións estudadas (0.2, 0.6 e 1.2 M, referido a grupo amino), a viscosidade das

mesturas acuosas de MEA e DMEA é inferior á viscosidade das disolucións acuosas de DMEN, polo que, nun principio e atendendo exclusivamente ao efecto negativo do aumento da viscosidade sobre a transferencia de materia na fase líquida, as mesturas de MEA e DMEA deberían aportar mellores resultados para o seu uso na absorción de CO<sub>2</sub>.

Ademais, realizáronse experimentos de absorción cos mesmos caudais de entrada de CO<sub>2</sub> ao reactor empregando como fase líquida auga desionizada que, como se introduciu anteriormente, constitúe un disolvente físico, motivo polo cal nestes experimentos non existirá reacción química algunha, ou cando menos, será insignificante.

#### 4.1.1. ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub> EN AUGA DESIONIZADA

Xa que as disolucións acuosas das distintas aminas estudadas se elaboran empregando auga desionizada, inicialmente leváronse a cabo experimentos de absorción de CO<sub>2</sub> empregando como único disolvente a propia auga desionizada. Estes experimentos permiten establecer unha comparación entre un proceso de absorción puramente físico e un proceso de absorción con reacción química, representándose esta comparación na Figura 16.

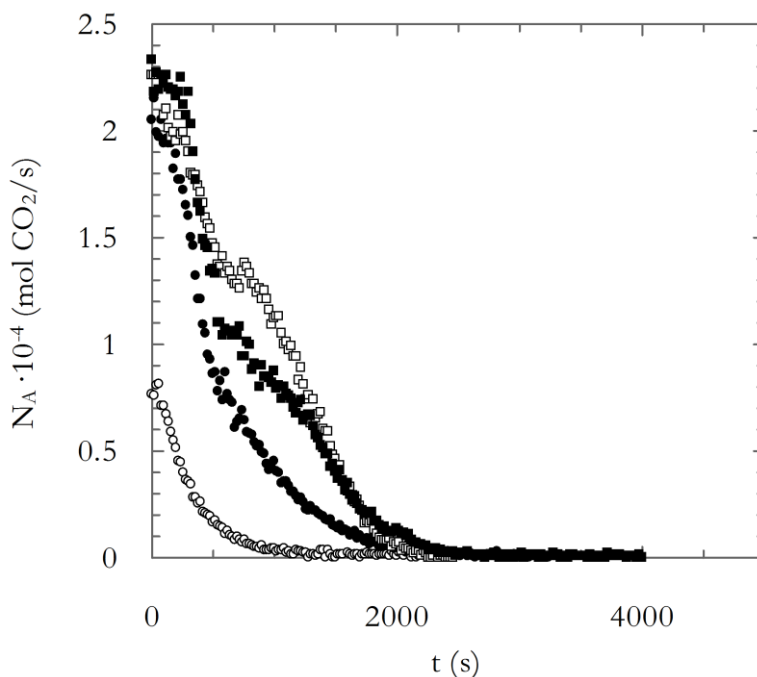


Figura 16. Comparación entre o uso de auga e o uso de disolventes químicos para a absorción de CO<sub>2</sub> ( $Q_G=0.330$  L·min<sup>-1</sup>): (o)  $C_B=0$  M (auga), (●)  $C_B=0.2$  M (0.1 M DMEN), (□)  $C_B=0.2$  M (0.1 M MEA + 0.1 M DMEA), (■)  $C_B=0.2$  M (0.17 M MEA + 0.03 M DMEA).

Na Figura 16 represéntanse os valores experimentais do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido,  $N_A$ , ao longo do tempo, para un caudal de CO<sub>2</sub> alimentado ao reactor de 0.330 L·min<sup>-1</sup> e para os distintos disolventes estudados a unha concentración de 0.2 M referida a grupos amino no caso

dos disolventes químicos. Tal e como se pode observar, a absorción é moito maior cando no proceso ten lugar unha reacción química, incluso a concentracións tan baixas, existindo ademais distintos comportamentos dependendo do composto que se trate, que se analizarán no apartado “4.1.6. Comparación de Resultados para os Distintos Disolventes”.

#### 4.1.2. ABSORCIÓN DE $CO_2$ EN MEA

O uso de disolucións acuosas de MEA como disolvente químico para a absorción de  $CO_2$  representa a Mellor Técnica Dispoñible hoxe en día e o seu comportamento amósase na Figura 17, representándose tanto a evolución do caudal molar de  $CO_2$  absorbido (a) coma a variación da carga de  $CO_2$  (b).

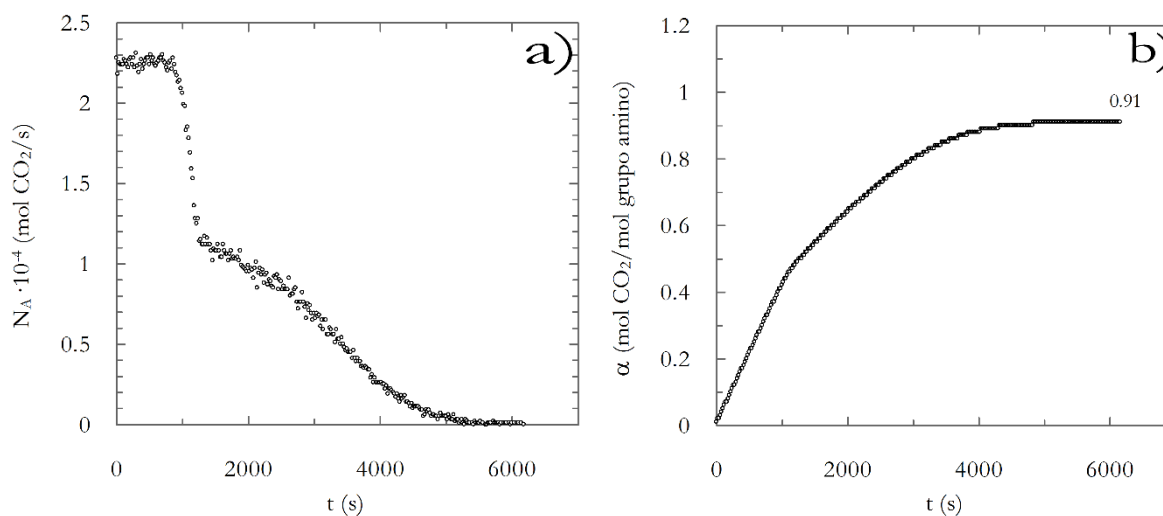


Figura 17. Absorción de  $CO_2$  (a) e carga de  $CO_2$  (b) en disolución acuosa de MEA ( $Q_G=0.330 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $C_B=0.6 \text{ M}$  MEA).

En ambas representacións poden observarse tres zonas diferenciadas:

- Dende o inicio do experimento ata aproximadamente os 900 s ten lugar unha absorción constante da totalidade do caudal de  $CO_2$  alimentado. Iso tradúcese nun rápido aumento de  $\alpha$  (pendente elevada). Este comportamento suxire que a transferencia de materia é a etapa limitante do proceso.
- No espazo de tempo comprendido entre os 900 e os 2800 s teñen lugar dous sucesos; inicialmente obsérvase unha gran caída repentina na absorción de  $CO_2$  (900 – 1300 s) pero posteriormente esta caída suavízase e o disolvente continúa a absorber  $CO_2$ . Isto tradúcese como unha redución no aumento de  $\alpha$  (redución da pendente). Estes cambios suxiren que a etapa limitante deixa de ser a transferencia de materia para pasar a ser a propia cinética química, debéndose isto a que a concentración de amina libre no disolvente se reduce durante a absorción que ten lugar anteriormente.

- Finalmente, para tempos superiores a 3000 s (aproximadamente) ata o final do experimento, a caída no valor de  $N_A$  ten lugar de xeito gradual ata que o disolvente esgota a súa capacidade de captura de CO<sub>2</sub>. No análise de  $\alpha$  pode verse que o aumento do seu valor prosegue, cada vez en menor medida, ata acadar un valor máximo e constante de 0.91 mol CO<sub>2</sub>·mol MEA<sup>-1</sup>. Esta tendencia na absorción é moi semellante á amosada na Figura 16 para o caso no que o disolvente era simplemente auga desionizada, suxerindo isto que o proceso que está a acontecer é unha absorción puramente física.

#### 4.1.3. ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub> EN DMEA

O uso de disolucións acuosas de DMEA como disolvente químico para a absorción de CO<sub>2</sub> ten un comportamento diferente ao amosado na Figura 17 para o uso de MEA no disolvente químico. De igual modo ca no apartado anterior, representándose tanto a evolución do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido (a) coma a variación da carga de CO<sub>2</sub> (b) para o uso de disolucións acuosas de DMEA na Figura 18.

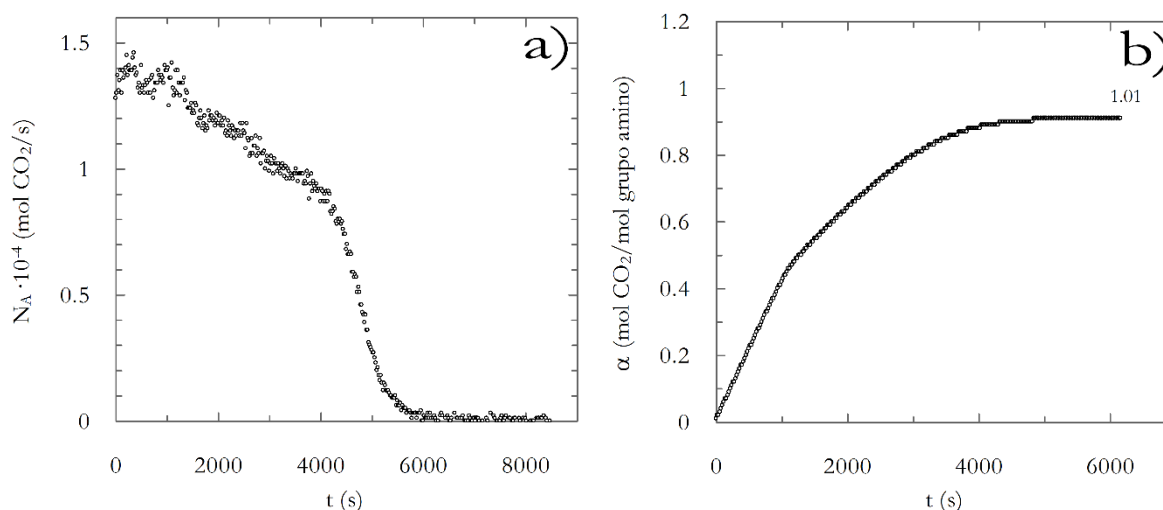


Figura 18. Absorción de CO<sub>2</sub> (a) e carga de CO<sub>2</sub> (b) en disolución acuosa de DMEA ( $Q_G=0.330 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $C_B=0.6 \text{ M}$  DMEA).

A diferenza do que acontecía para o uso de disolucións acuosas de MEA, estes experimentos divídense en soamente dúas zonas:

- Dende o inicio do experimento ten lugar unha redución progresiva da absorción de CO<sub>2</sub>. Isto tradúcese como unha redución continuada no aumento de  $\alpha$  (redución da pendente). Este cambio suxire que a etapa limitante deixa de ser a transferencia de materia para pasar a ser a propia cinética química, debéndose isto a que a concentración de amina libre no disolvente, tende a reducirse durante este período.

- A partir dun tempo de aproximadamente 4000 s prodúcese unha caída abrupta no valor de  $N_A$ , que posteriormente segue descendendo de xeito gradual ata o final do experimento, cando o disolvente esgota por completo a súa capacidade de captura de CO<sub>2</sub>. No análise de  $\alpha$  pode verse que o aumento do seu valor é cada vez menor ata acadar un valor máximo e constante de 1.01 mol CO<sub>2</sub>·mol DMEA<sup>-1</sup>. Esta tendencia na absorción é moi semellante á amosada na Figura 16 para a auga desionizada, suxerindo isto que o proceso que está a acontecer é unha absorción física.

Tendo en conta o comportamento mostrado pola disolución acuosa de DMEA e comparándoo co comportamento observado previamente para disolucións acuosas de MEA, obsérvanse diferenzas significativas nas súas cinéticas de absorción de CO<sub>2</sub>, o cal pode ter que ver co mecanismo de reacción que segue cada sistema e coas propiedades físicas de cada solvente.

#### 4.1.4. ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub> EN MESTURA DE MEA E DMEA

Tal e como se indicou no apartado “3.2. Metodoloxía en Estudos de Absorción”, realizáronse experimentos para todos os caudais de gas alimentados ao reactor e todas as concentracións estudadas, pero variando, neste caso, a composición da mestura; nuns estudos o disolvente está formado por un 50% de MEA e un 50% de DMEA, mentres que noutros por un 83.3% de MEA e un 16.7% de DMEA. Xa que tanto a influencia da concentración do disolvente coma a do caudal de gas alimentado representan as mesmas tendencias xerais independentemente da composición do disolvente, a continuación exprésanse e analízanse os resultados obtidos para os experimentos levados a cabo coa disolución acuosa na que o contido en aminas está formado por un 50% de MEA e un 50% de DMEA.

#### INFLUENCIA DA CONCENTRACIÓN DE MEA+DMEA

O primeiro parámetro analizado é o efecto da concentración das diferentes disolucións acuosas de MEA e DMEA empregadas; para isto compáranse, na Figura 19, os valores do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido (a) e a carga de CO<sub>2</sub> (b) acadados mediante a absorción dun caudal alimentado de 0.230 L·min<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> con disolucións acuosas mestura de MEA e DMEA con concentracións de 1.2, 0.6 e 0.2 M en grupos amino.

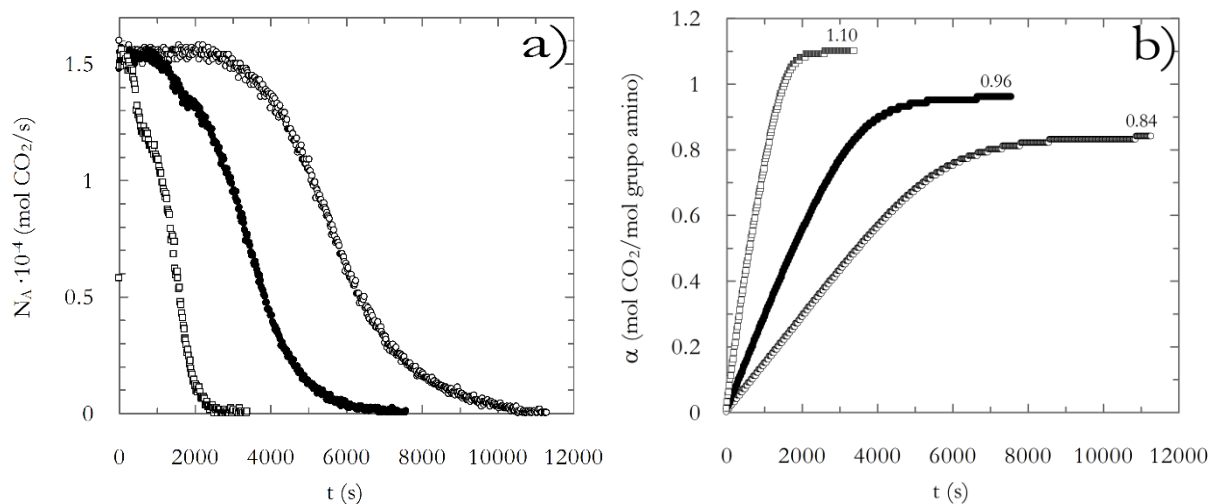


Figura 19. Influencia da concentración do disolvente na absorción de  $\text{CO}_2$  (a) e na carga de  $\text{CO}_2$  (b) ( $Q_G=0.230 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ): ( $\circ$ ) $C_B=1.2 \text{ M}$  (0.6 M MEA + 0.6 M DMEA), ( $\bullet$ ) $C_B=0.6 \text{ M}$  (0.3 M MEA + 0.3 M DMEA), ( $\square$ ) $C_B=0.2 \text{ M}$  (0.1 M MEA + 0.1 M DMEA).

A tendencia resultante para  $N_A$ , Figura 19 (a), pode entenderse coma unha mestura do comportamento das disolucións de MEA e de DMEA por separado, xa que:

- Inicialmente obsérvase unha zona plana que indica a absorción constante de todo o  $\text{CO}_2$  alimentado (semellante ao uso de disolución de MEA); esta zona alóngase durante máis tempo de forma proporcional á concentración en grupos amino presentes no disolvente, sendo practicamente nula nos experimentos cunha concentración de 0.2 M e manténdose ata os 2500 s aproximadamente nun disolvente 1.2 M. O feito de que se estea a absorber todo o caudal de  $\text{CO}_2$  alimentado suxire que a MEA presente no disolvente podería ter unha maior tendencia a reaccionar co  $\text{CO}_2$  que a DMEA.
- Posteriormente obsérvase unha caída rápida no valor de  $N_A$  que, ao contrario que no período anterior, é máis notoria para os disolventes con menor concentración de grupos amino, sendo practicamente nula no disolvente 1.2 M. Esta caída é similar á existente no proceso de absorción de  $\text{CO}_2$  con disolución acuosa de MEA (Figura 17), pero a velocidade coa que se produce é menor, comportamento que suxire que a presenza de DMEA permite aumentar a absorción de  $\text{CO}_2$  durante este período, xa que os experimentos de absorción con disolución acuosa de DMEA (Figura 18) amosan unha redución de  $N_A$  máis gradual no tempo.
- Para todos os disolventes, independentemente da súa concentración, o último período representa unha absorción puramente física; a única diferenza salientable é que a maior concentración, máis tempo tarda en comezar a manifestarse este proceso



esgotamento das aminas presentes no disolvente máis rápida ca con caudais baixos, é dicir, que os caudais baixos de gas provocan unha cinética de absorción máis lenta, efecto que se pode observar facilmente atendendo á pendente da carga de CO<sub>2</sub> representada na Figura 20 (b). Este comportamento é provocado por un aumento na área interfacial que se produce entre as dúas fases envolvidas nos proceso (gas e líquida) causada polo incremento no caudal de gas alimentado ao reactor.

Ademais do estritamente mostrado nos resultados, durante a realización dos experimentos observouse que a retención de gas no reactor aumentaba ao aumentar o caudal de CO<sub>2</sub> alimentado, efecto que, como se comentou anteriormente, ten consecuencias positivas na absorción, xa que aumenta a área interfacial gas-líquido mellorando así a transferencia de materia e, porén, o proceso de absorción. Ademais un aumento do caudal de gas alimentado tende a aumentar o tamaño das burbullas (feito que afecta negativamente sobre valor da área interfacial) pero este efecto é moito menor que o producido pola retención de gas na columna.

#### 4.1.5. ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub> EN DMEN

O principal interese no estudo das disolucións acuosas de DMEN como posible disolvente para a absorción de CO<sub>2</sub> radica en poder coñecer como afecta o feito de que os grupos amino primario e terciario se atopen nunha mesma molécula fronte a que se atopen en moléculas separadas formando parte dun mesmo disolvente (como acontece nas mesturas acuosas de MEA e DMEA). Os experimentos de absorción realizados permitirán, a maiores, analizar como afecta a concentración do disolvente e o caudal de gas alimentado ao proceso de absorción de CO<sub>2</sub>.

#### INFLUENCIA DA CONCENTRACIÓN DE DMEN

O primeiro parámetro analizado no uso de DMEN é o efecto da concentración das diferentes disolucións acuosas empregadas; para isto compáranse, na Figura 21, os valores do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido (a) e a carga de CO<sub>2</sub> (b) acadados mediante a absorción de 0.230 L·min<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> con disolucións acuosas de DMEN con concentracións de 1.2, 0.6 e 0.2 M en grupos amino.













moito máis acusada ata que comeza a absorción física, mentres que para o caso da mestura acuosa de MEA e DMEA se produce unha primeira caída rápida en pouco tempo, para posteriormente descender de xeito leve ata que comeza a absorción unicamente física.

Comparando os valores máximos de  $\alpha$  para os dous disolventes pode verse como para no caso de DMEN se acadada unha carga de CO<sub>2</sub> notablemente inferior á acadada coa mestura acuosa de MEA e DMEA, feito que suxire que na diamina non se estaría levando a cabo unha reacción efectiva para a captura de dióxido de carbono por parte dos dous grupos amino existentes. De feito, os valores da carga de CO<sub>2</sub> parecen indicar que a estequiometría global do proceso de absorción de dióxido de carbono para a mestura acuosa de MEA e DMEA, no caso dunha conversión do 100%, é de 1:1 (definida como mol CO<sub>2</sub>:mol grupo amino) mentres que se aproxima a unha estequiometría 1:2 no caso do uso de DMEN.

## 4.2. ESTUDOS DE MECANISMO DE REACCIÓN

Tal e como se comentou no apartado “3.3. Metodoloxía en Estudos de Mecanismo de Reacción” empregouse a espectrometría de resonancia magnética nuclear (de carbono e hidróxeno) para o análise da evolución de reactivos e produtos no seo da fase fluída a medida que se produce a absorción de CO<sub>2</sub>. Para isto e como primeiro paso analizáronse os sinais obtidos para as moléculas empregadas para a formulación dos disolventes a ser empregados como absorbente químico de CO<sub>2</sub>.

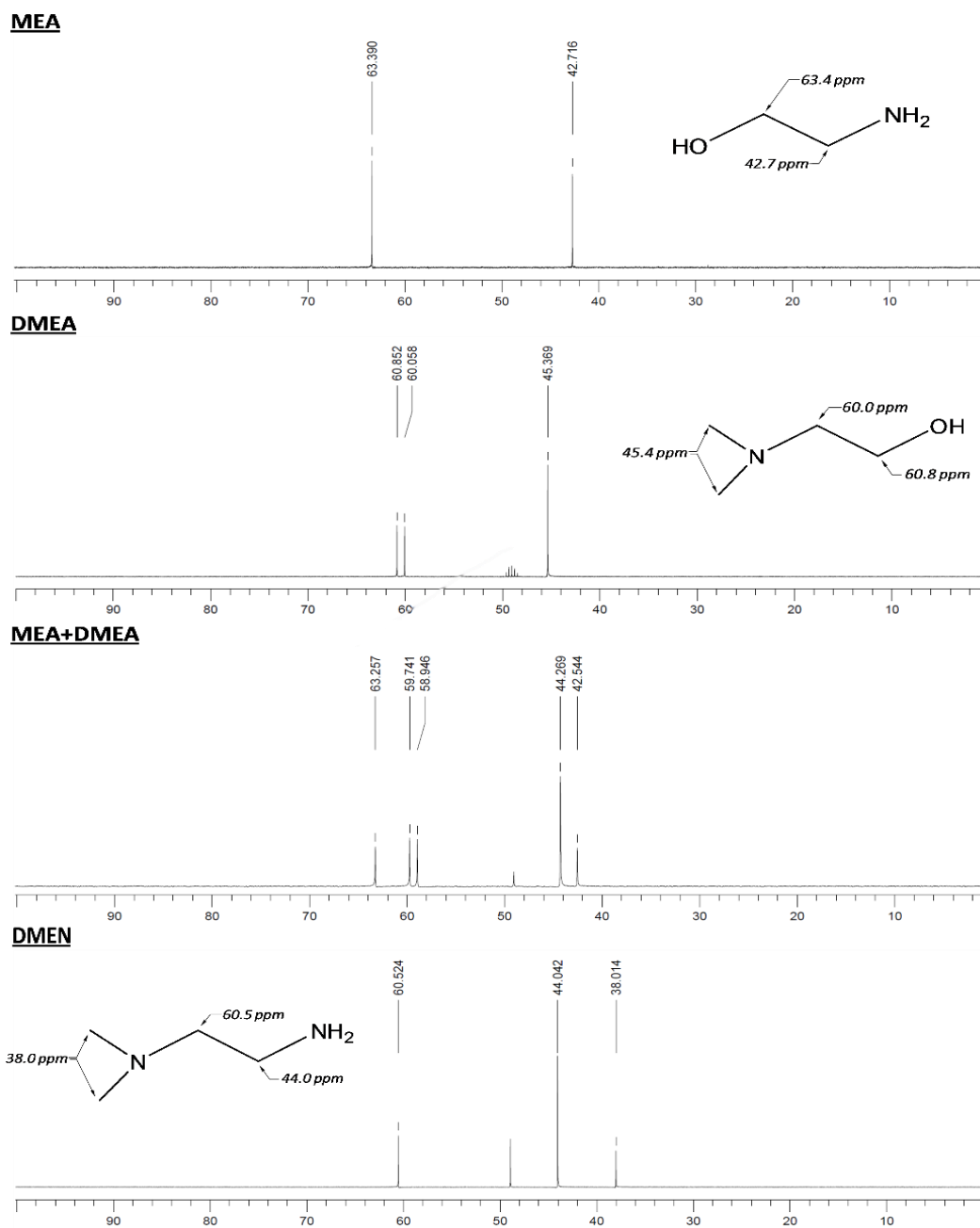


Figura 27. Espectros de <sup>13</sup>C das moléculas empregadas para a formulación dos disolventes químicos empregadas no presente estudo.





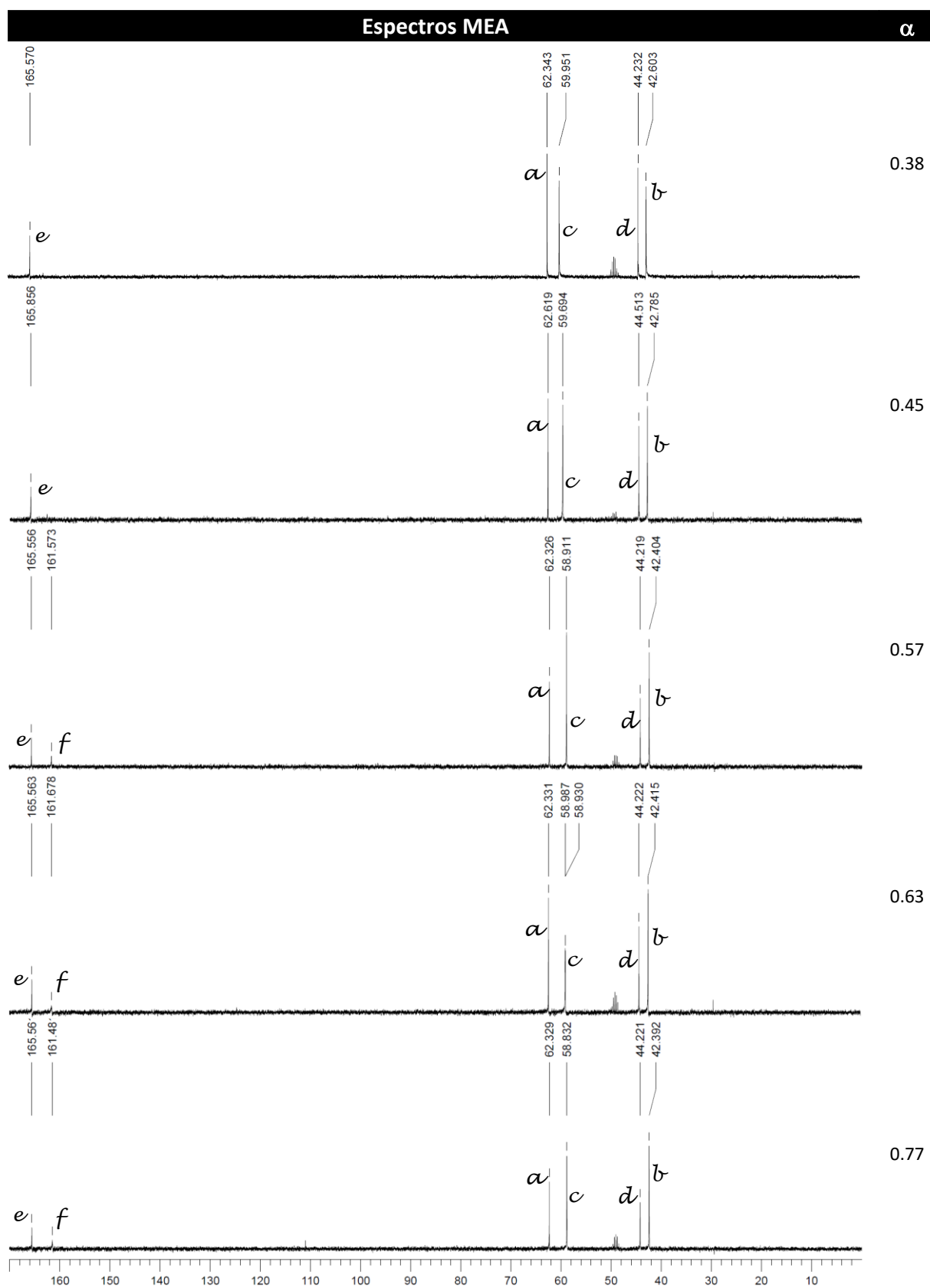


Figura 28. Espectros de <sup>13</sup>C correspondientes a un experimento de absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de MEA (continuación) [13].



#### 4.2.2. MECANISMO DE REACCIÓN DE DMEA

Seguindo a mesma metodoloxía levouse a cabo a análise dos espectros de RMN correspondentes ao experimento de absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de DMEA, amosándose estes na Figura 30.

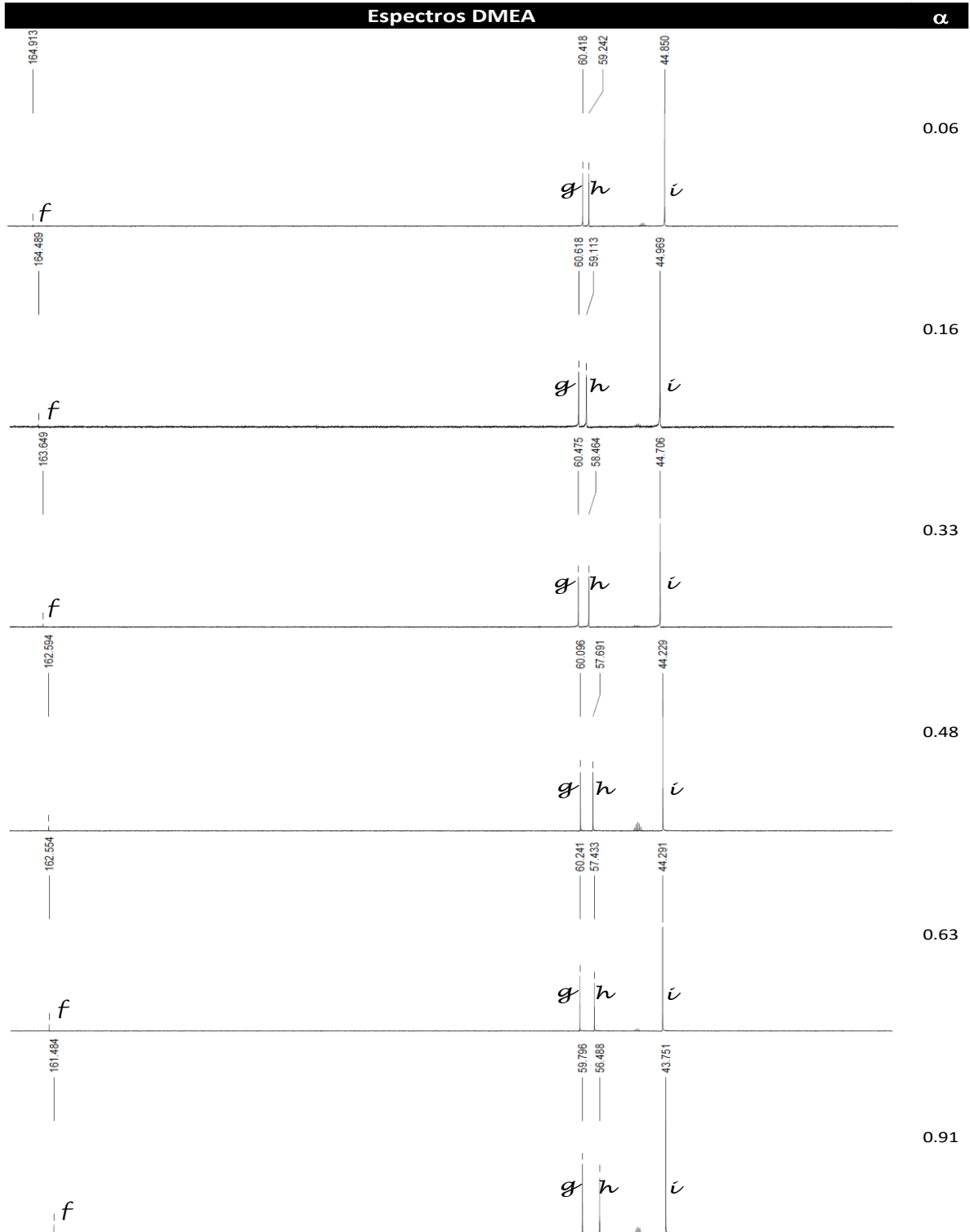


Figura 30. Espectros de <sup>13</sup>C correspondente a un experimento de absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de DMEA.



Os sinais observados nos espectros de RMN da Figura 30 son completamente coherentes co mecanismo de reacción proposto, xa que soamente se observan os sinais de campo alto correspondentes aos carbonos da amina, que sofren lixeiros cambios no desprazamento químico debido ao equilibrio amina – amina protonada. Por outra banda, obsérvase un sinal no primeiro dos espectros a un desprazamento químico de  $\delta=164.9$  ppm (sinal *f*), que se vai desprazando a medida que avanza o experimento ata un valor de  $\delta=161.2$  ppm. Este último desprazamento químico correspóndese co do ión bicarbonato, mentres que o primeiro é unha mestura de carbonato/bicarbonato. A medida que aumenta a cantidade de CO<sub>2</sub> absorbido quimicamente, o pH tende a valores máis ácidos, desprazando así o equilibrio carbonato – bicarbonato cara este último. Este tipo de mecanismo amosa unha estequiometría 1:1 (mol CO<sub>2</sub> : mol DMEA) o que a priori representa unha característica apropiada para aumentar a capacidade de captura de CO<sub>2</sub>, como se pode observar tamén na Figura 30 atendendo aos valores da carga de CO<sub>2</sub> ( $\alpha$ ) acadados.

#### 4.2.3. MECANISMO DE REACCIÓN DA MESTURA DE MEA E DMEA

Os mecanismos de reacción analizados nos apartados anteriores correspóndense coa actuación individual dos elementos desta mestura, e tal e como se observou, amosan comportamentos totalmente diferentes; mentres que na disolución de MEA os produtos de reacción son carbamato e bicarbonato, producíndose o último debido á hidrólise do carbamato, na disolución de DMEA o bicarbonato xérase mediante reacción química entre esta amina, a auga e o CO<sub>2</sub> de forma directa, sen pasar pola formación do carbamato. Co fin de analizar as posibles influencias da presenza de ambas aminas no disolvente químico sobre o mecanismo de reacción, leváronse a cabo estudos empregando as mesturas de MEA e DMEA empregadas no presente traballo en estudos de absorción/ rexeneración, tendo en conta a fracción de amina primaria e terciaria en cada unha delas.

#### MEA + DMEA (50%-50%)

Na Figura 32 amósanse os espectros obtidos para as mesturas tomadas do interior do reactor aportando información sobre a carga de CO<sub>2</sub> ( $\alpha$ ) existente en cada mostra obtida. Estes espectros amosan na primeira parte do experimento a presenza de novos sinais, concretamente na zona de campo alto. A pesares de que non se observa un pico arredor dos 165 ppm, pódese concluír que se está formando carbamato xa que, se ben dito sinal adoita ter unha baixa intensidade (polo que se podería confundir co ruído dos sinais), na zona de campo alto aparecen sinais duplicados próximos aos carbonos da MEA que indican a formación de dito produto de reacción. Este comportamento é o observado durante boa parte do experimento, dando a entender que a

reacción do CO<sub>2</sub> e MEA é preferente á que tería lugar entre gas, auga e DMEA, xa que a presenza do equilibrio bicarbonato – carbonato non se detecta nos inicios do proceso de absorción.

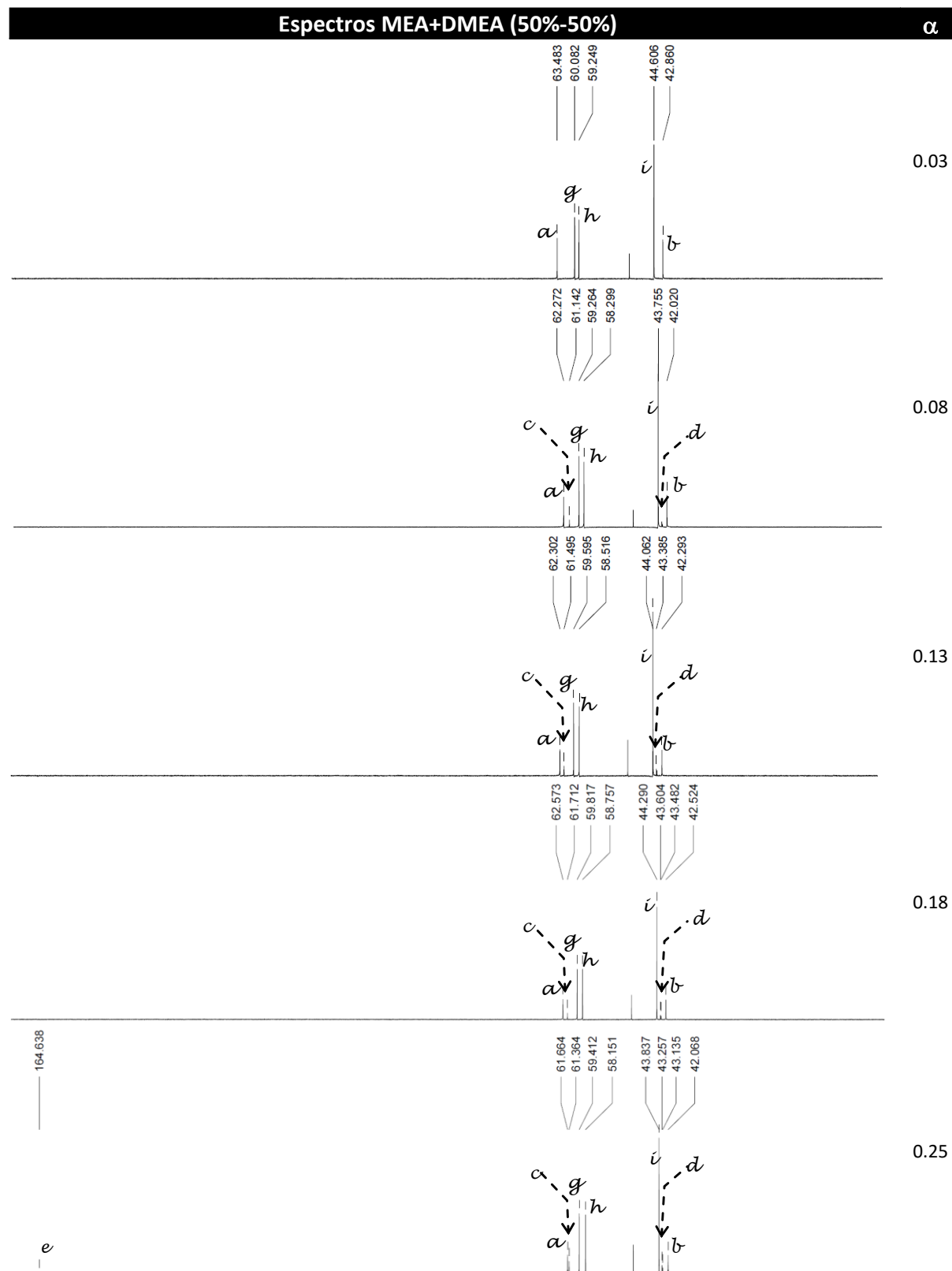


Figura 32. Espectros de <sup>13</sup>C correspondentes a un experimento de absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de mestura de MEA (50%) + DMEA (50%).

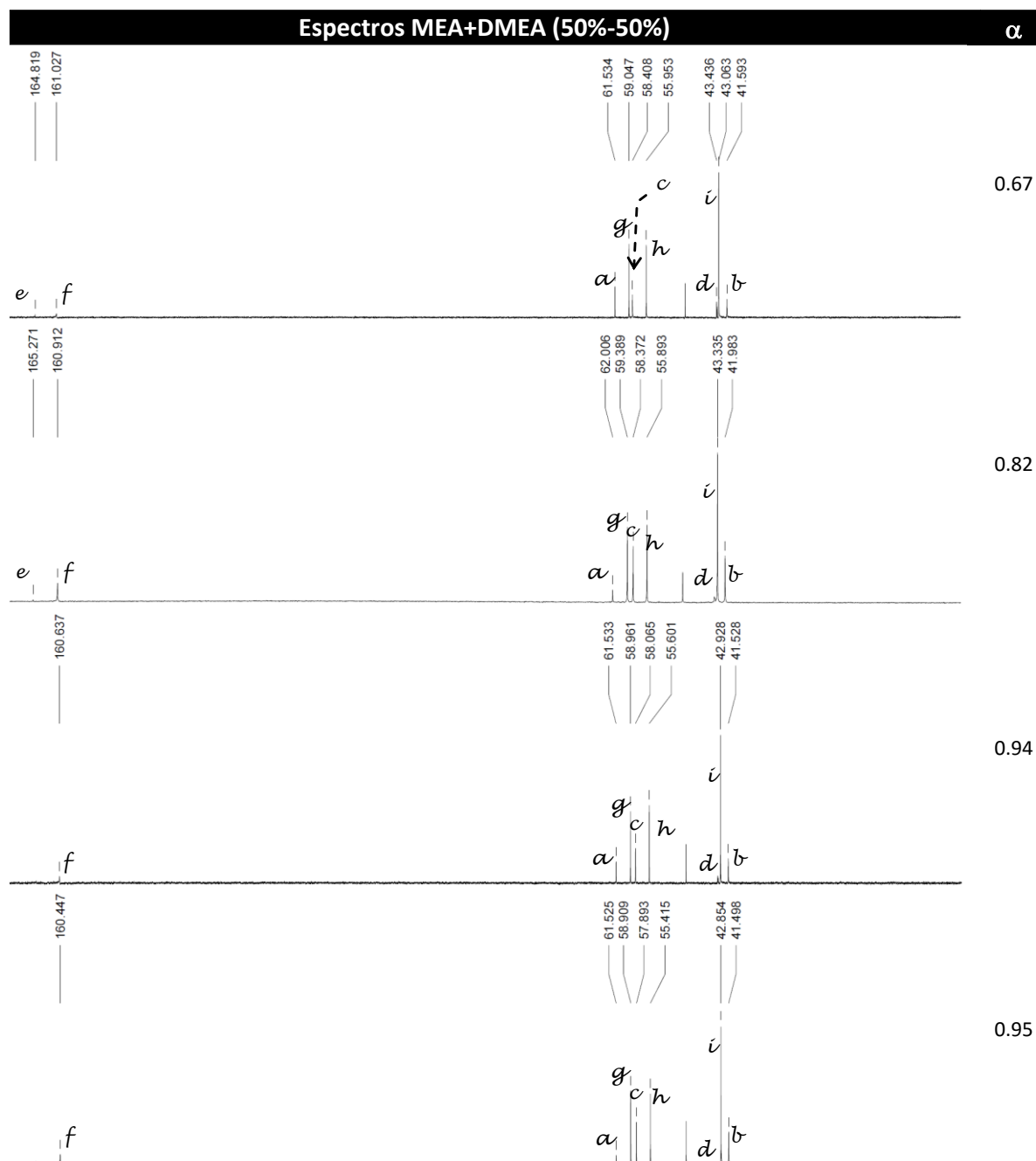


Figura 32. Espectros de  $^{13}C$  correspondentes a un experimento de absorción de  $CO_2$  en disolución acuosa de mestura de MEA (50%) + DMEA (50%) (continuación).

Posteriormente a presenza do bicarbonato toma unha gran importancia, concretamente a partir de  $\alpha=0.67$ , aparecendo en gran medida na parte final do experimento. A formación deste composto pode vir dado tanto pola hidrólise do carbamato da MEA, coma derivado da reacción coa amina terciaria. De feito, nos últimos espectros do experimento, a presenza de carbamato diminúe tanto que a súa detección é máis complicada, probablemente debido á baixa concentración do mesmo, e este feito queda confirmado polos elevados valores da carga de  $CO_2$ , próximos á unidade, que indica unha estequiometría moi próxima ao 1:1 (mol  $CO_2$ :mol grupo amino), cunha selectividade, polo tanto, próxima ao 100% respecto ao ión bicarbonato.

A maiores do propio estudo de especiación empregando espectrometría de RMN levouse a cabo un seguimento do pH durante a absorción química, representándose a súa variación ao longo do experimento na Figura 33 (a). Do mesmo xeito, establécese a relación carga-pH, representada na Figura 33 (b), que se empregará nos experimentos de captura/rexeneración en continuo para poder coñecer a carga de  $\text{CO}_2$  do disolvente trala súa rexeneración.

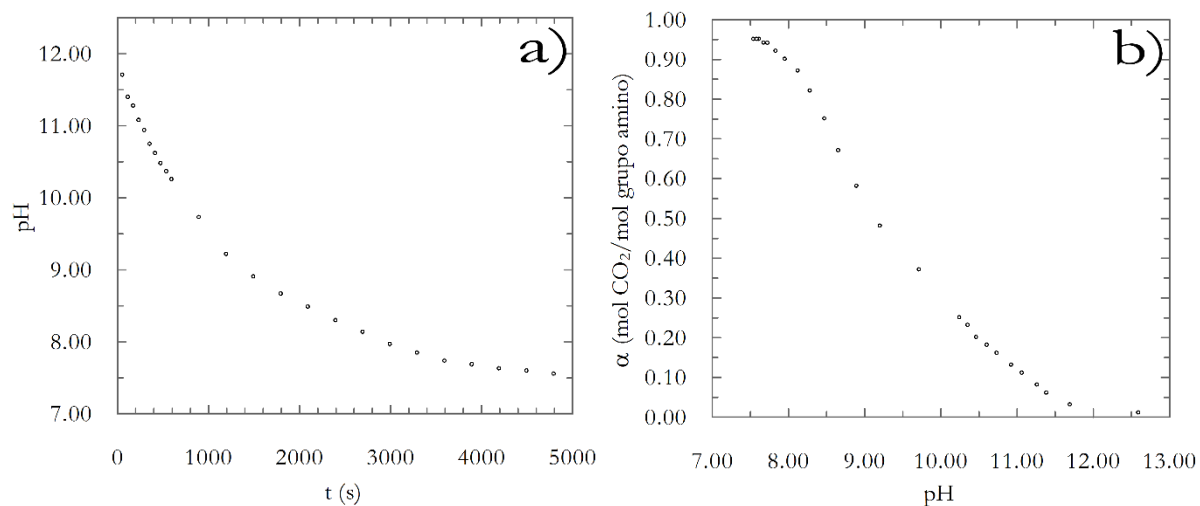


Figura 33. Variación do pH (a) e relación carga-pH (b) para a absorción de  $\text{CO}_2$  en disolución acuosa ( $Q_G=0.330 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $C_B=0.6 \text{ M} - 0.3 \text{ M MEA} + 0.3 \text{ M DMEA}$ ).

Tal e como se pode comprobar na Figura 33 (a), a medida que se produce a absorción de  $\text{CO}_2$ , o pH tende a valores máis ácidos, tendo unha gran caída no seu valor nos primeiros momentos do experimento e reducíndose a pendente ata finalizar o experimento, onde se acadan valores de pH próximos a 7.5. Tal e como se concluíu a través dos espectros da Figura 32, o gran descenso inicial no valor do pH (dende un valor de 11.6 ata un valor de 9.0 aproximadamente) corresponderíase coa formación de carbamato mediante a reacción do  $\text{CO}_2$  coa MEA, mentres que a posterior variación do pH, moito máis atenuada, se debería tanto á hidrólise do carbamato coma á reacción do  $\text{CO}_2$  coa DMEA, xa que en ambos procesos se liberaría bicarbonato que establece un equilibrio bicarbonato – carbonato unicamente dependente do pH do medio. A relación carga-pH describe un comportamento similar ao observado para o caudal absorbido de  $\text{CO}_2$  en disolución acuosa de mestura de MEA e DMEA (Figura 20), con certas variacións ligadas directamente ás diferentes intensidades na variación do pH durante o experimento.

#### MEA+DMEA (83.3%-16.7%)

Xa que en seccións previas do presente Traballo Fin de Máster se empregaron distintas relacións entre amina primaria/terciaria e se acadaron certos aspectos positivos respecto dos obtidos cunha relación do 50%, tamén se levaron a cabo estudos de determinación de especies mediante RMN para mesturas ricas en amina primaria (tratando de aproveitar a súa velocidade de

reacción), buscando chegar a conclusións de interese sobre as causas polas que se observan melloras no proceso de absorción química de CO<sub>2</sub>.

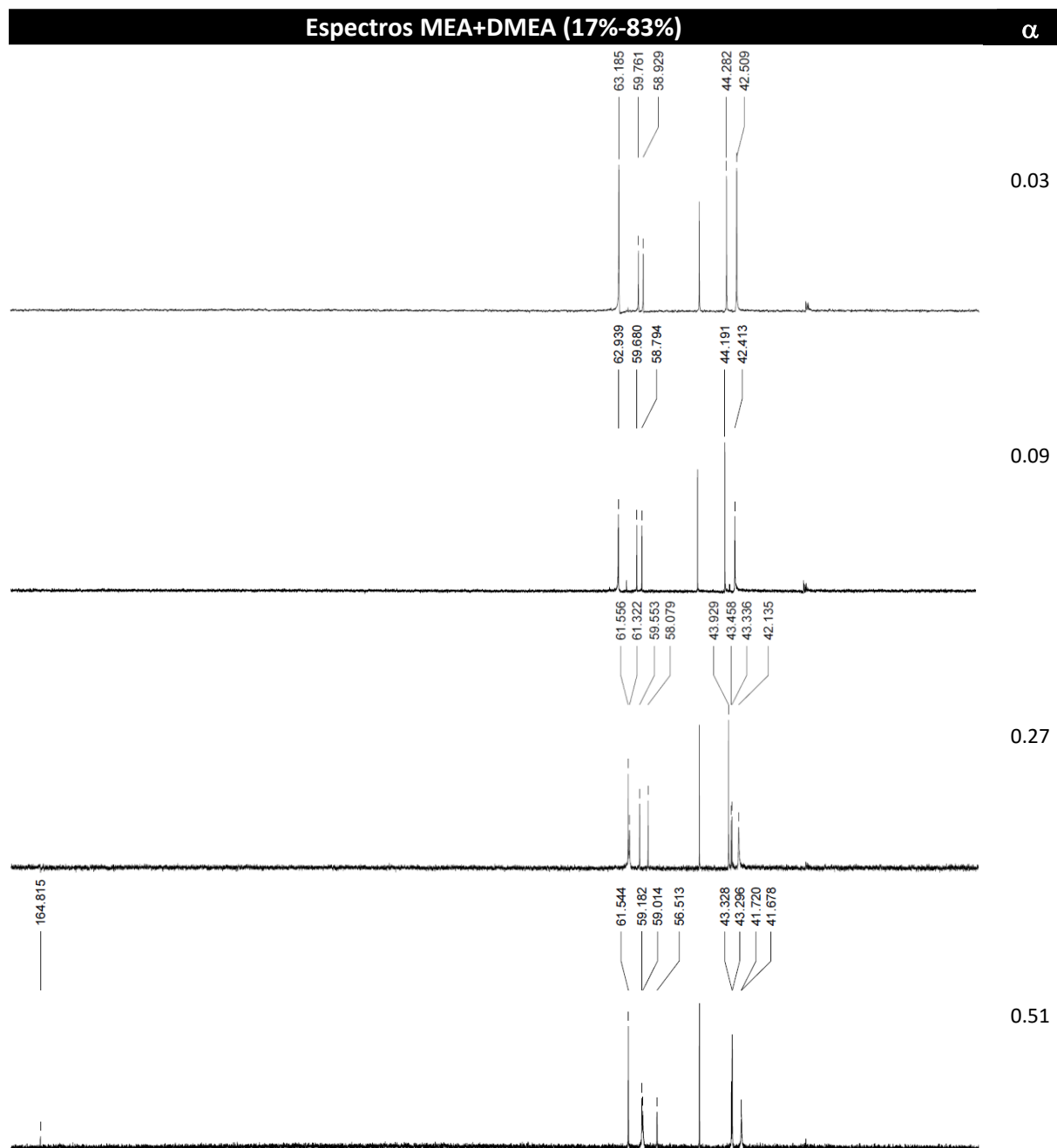


Figura 34. Espectros de <sup>13</sup>C correspondentes a un experimento de absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de mestura de MEA (83.3%) + DMEA (16.7%)<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Non se identifica cada sinal cunha letra xa que se observan os mesmos sinais ca no experimento levado a cabo coa mestura acuosa equimolar de MEA e DMEA (Figura 32).

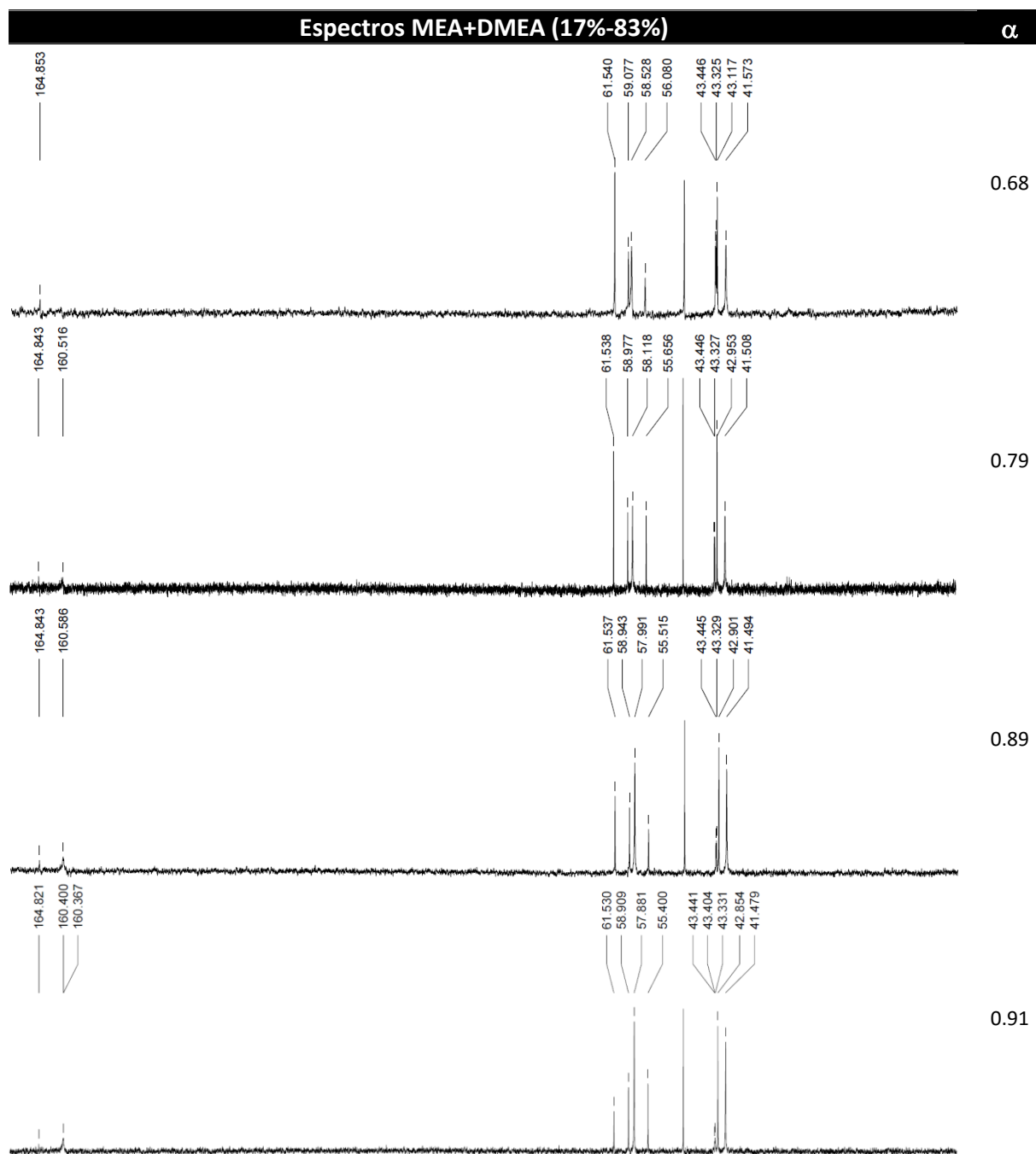


Figura 34. Espectros de <sup>13</sup>C correspondentes a un experimento de absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de mestura de MEA (83.3%) + DMEA (16.7%) (continuación).

O comportamento observado en liñas xerais e similar ao previamente obtido e discutido empregando mesturas equimolares de MEA e DMEA. O principal cambio no comportamento é que a aparición do ión bicarbonato, ben por hidrólise do carbamato da MEA ou por reacción do CO<sub>2</sub> con DMEA, prodúcese a tempos e cargas de CO<sub>2</sub> maiores ( $\alpha=0.79$ ), debido probablemente á maior concentración de MEA.

En relación ao mecanismo xeral de reacción, compre indicar que a estequiometría é similar aos experimento empregando a mestura equimolar, xa que se alcanzan valores de carga moi semellantes, que indican que o produto maioritariamente é ión bicarbonato. Por outra banda, a evolución do pH na disolución o longo do experimento (Figura 35) e tamén semellante á da mestura de MEA e DMEA cunha proporción molar do 50%.

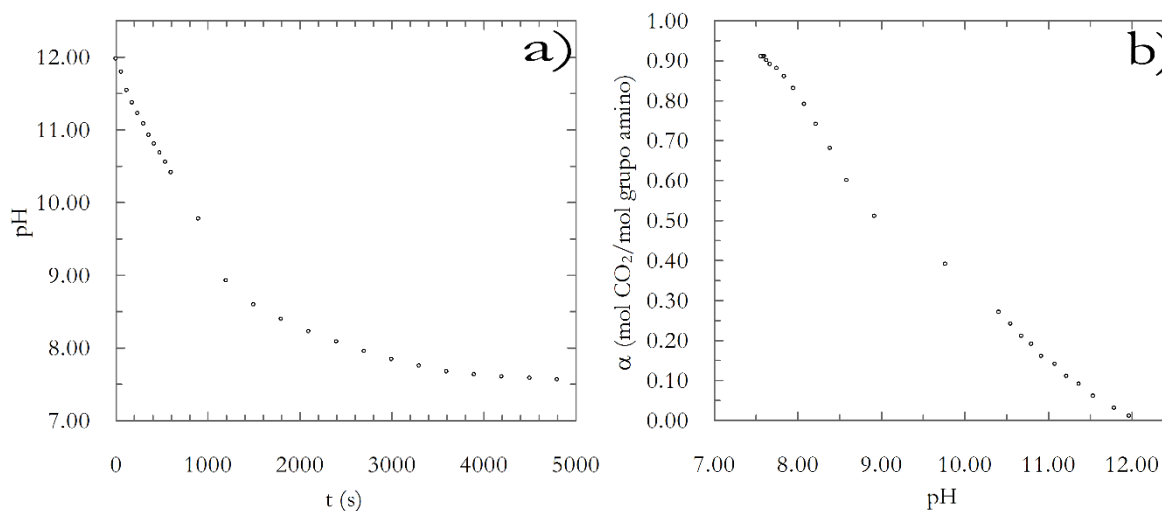


Figura 35. Variación do pH (a) e relación carga-pH (b) para a absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa ( $Q_G=0.330$  L·min<sup>-1</sup>,  $C_B=0.6$  M - 0.5 M MEA + 0.1 M DMEA).

#### 4.2.4. MECANISMO DE REACCIÓN DE DMEN

Unha vez analizados os distintos mecanismos de reacción presentes na absorción química de CO<sub>2</sub> en disolucións acuosas de MEA, DMEA e mesturas destas, abórdase o estudo deste proceso empregando disolucións acuosas de DMEN. A Figura 36 amosa os espectros de RMN de <sup>13</sup>C, observándose no primeiro de ditos espectros os sinais correspondentes á diamina pura (*j*, *k* e *l*), sen reaccionar, pero a medida que evoluciona no tempo de operación obsérvase a duplicación de sinais (*m*, *n* e *o*), e aínda que a campo baixo non aparece ningún sinal a 165 ppm, pódese concluír que se está formando carbamato, ao igual que se concluíu no caso dos estudos con mesturas de aminas (Figura 32) analizados previamente.

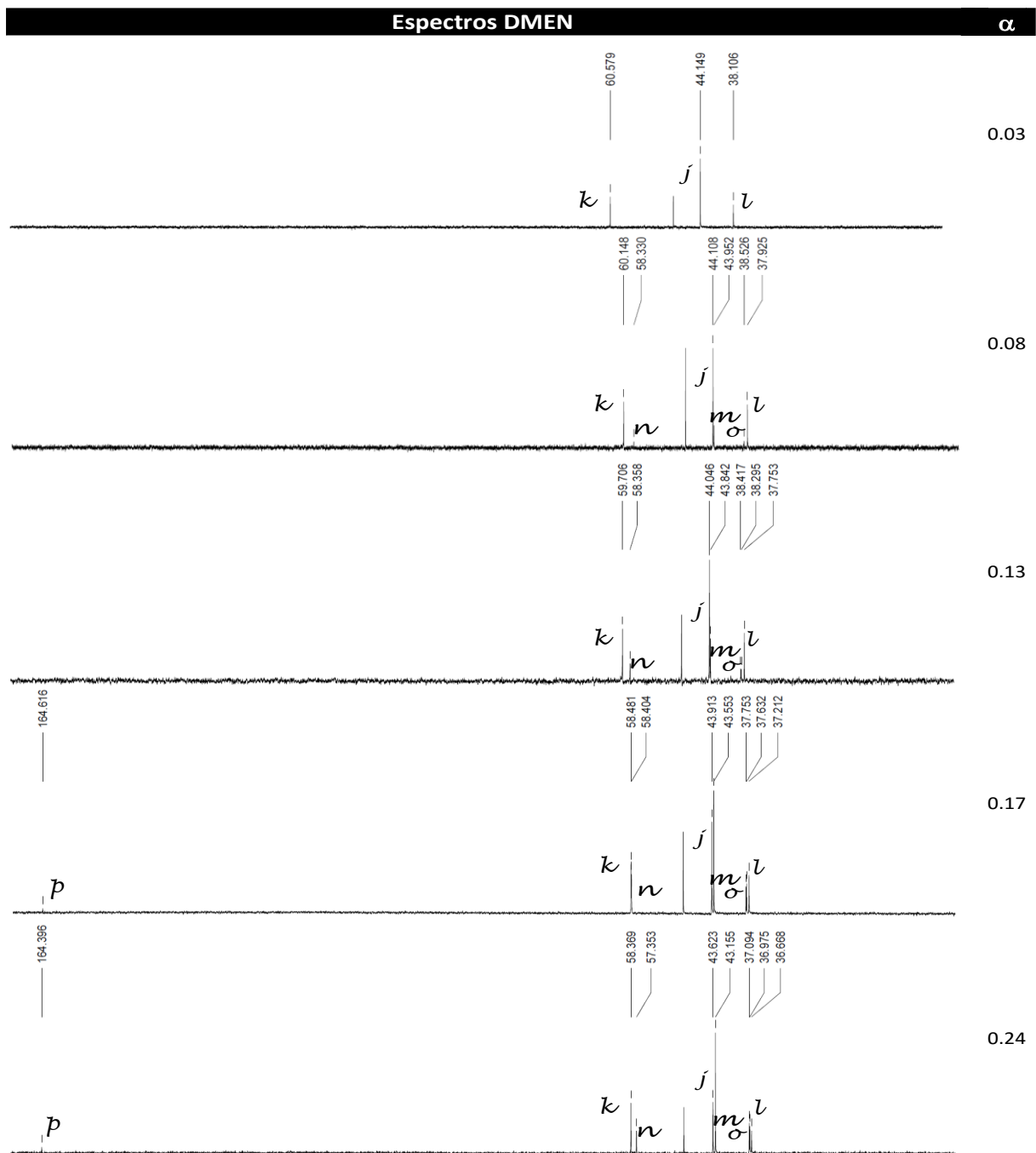


Figura 36. Espectros de <sup>13</sup>C correspondientes a un experimento de absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de DMEN.

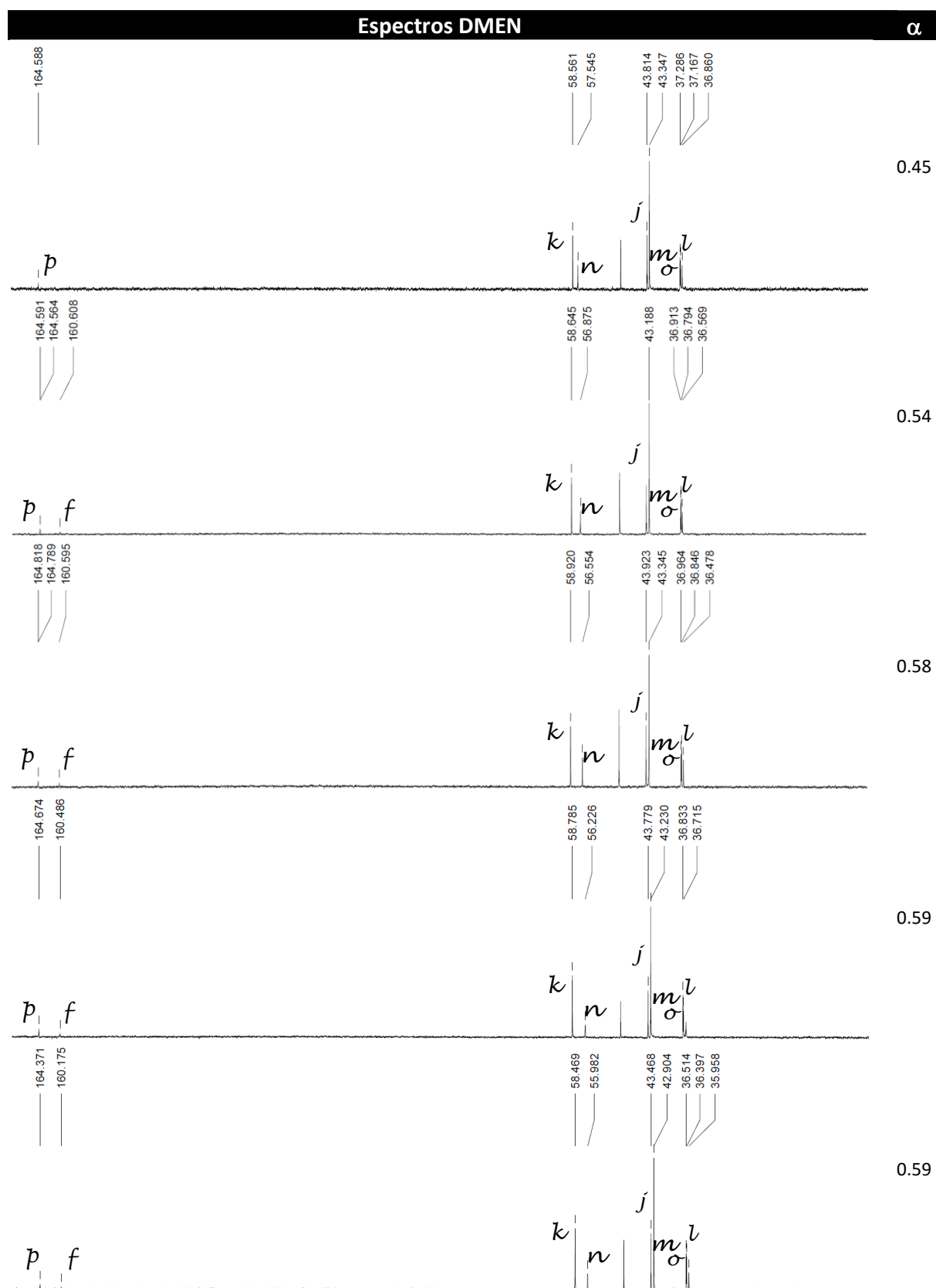


Figura 36. Espectros de <sup>13</sup>C correspondientes a un experimento de absorción de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de DMEN (continuación).

Este mesmo tipo de sinais obsérvase durante unha parte importante do experimento, aparecendo posteriormente o sinal (*p*) a aproximadamente  $\delta=165$  ppm, confirmando a formación de carbamato. Á vista dos espectros, pódese concluír que existe unha clara preferencia do CO<sub>2</sub> polo grupo primario da diamina, debido a que soamente aparece carbamato na maior parte do experimento. Só a etapas moi avanzadas, concretamente cando se acadada unha carga de 0.54 mol CO<sub>2</sub>·mol grupo amino<sup>-1</sup> (92% da carga total acadada ó remate do experimento) se observa a presenza dun sinal (*f*) con desprazamento químico próximo a  $\delta=161$  ppm que se correspondería coa existencia do ión bicarbonato, e que coexiste durante o resto do proceso de absorción. Atendendo ao mecanismo de reacción, non se pode confirmar se a formación do ión bicarbonato se debe á hidrólise do carbamato do grupo amino primario ou ben se se debe á reacción directa do grupo terciario da diamina coa auga e o dióxido de carbono. A Figura 37 amosa o esquema dun posible mecanismo de reacción baseado nas conclusións dos estudos de especiación para aminas individuais ou para a mestura das mesmas.

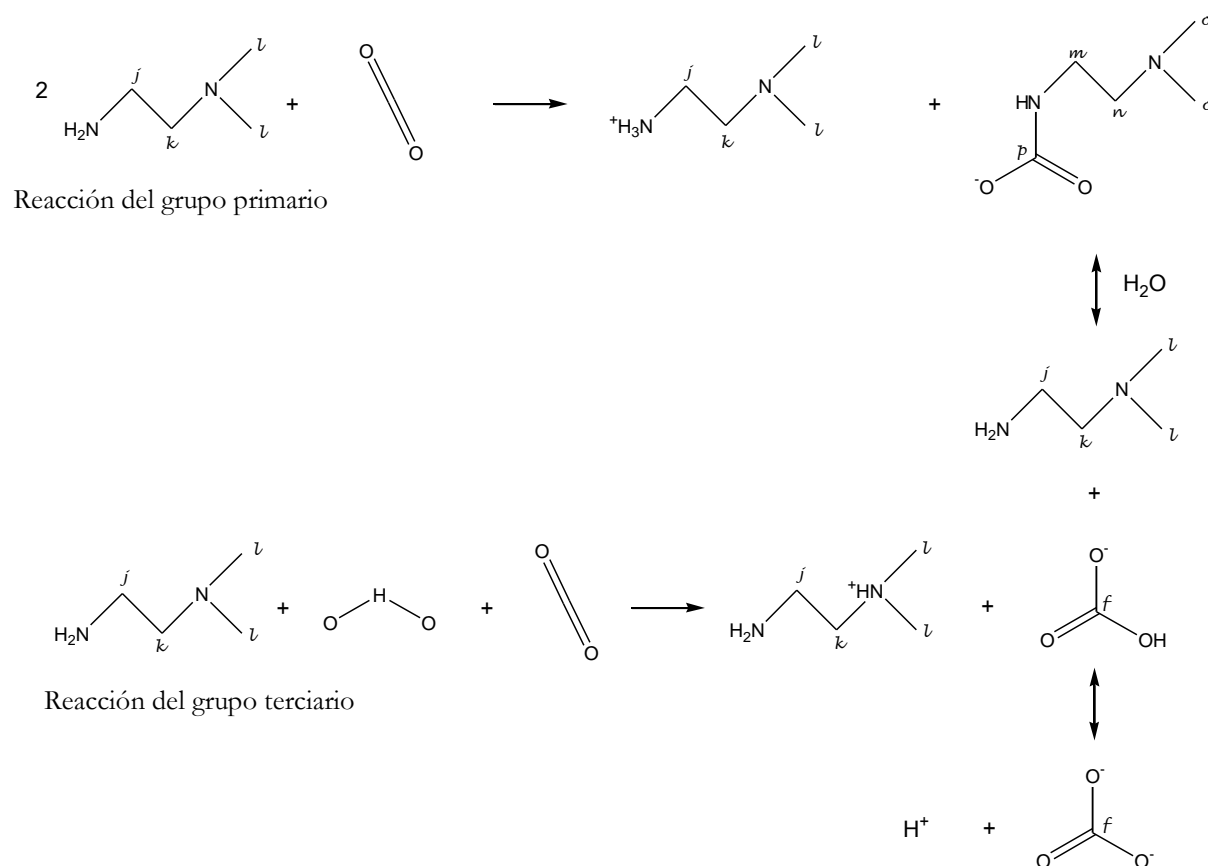


Figura 37. Posible mecanismo de reacción para a absorción química de CO<sub>2</sub> en disolucións acuosas de DMEN.

Pero os espectros amosados na Figura 36 indican a práctica inexistencia da reacción co grupo terciario da DMEN, xa que a presenza do ión bicarbonato é pequena, pois aparece cando a absorción química concluíu practicamente. O feito de que o bicarbonato apareza cando a carga de

CO<sub>2</sub> acada un valor de 0.54 mol CO<sub>2</sub>·mol grupo amino<sup>-1</sup> indica a baixa concentración do mesmo e polo tanto una estequiometría global 2:1 (mol DMEN:mol CO<sub>2</sub>). Por estes motivos, é máis probable que a orixe do bicarbonato radique na hidrólise do carbamato, debido ás altas concentracións que se acadan deste composto na parte final do experimento.

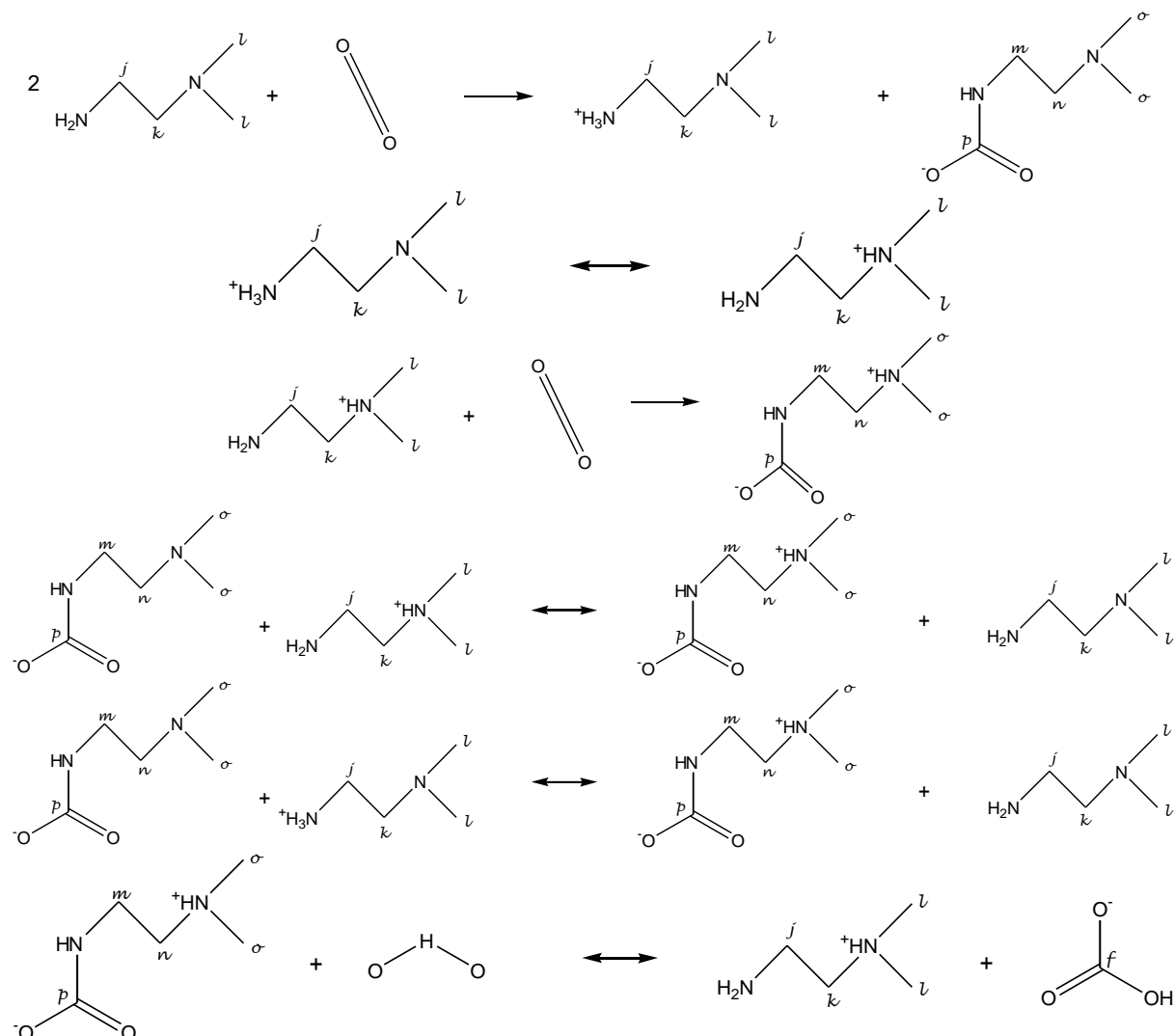


Figura 38. Reaccións involucradas no mecanismo de reacción para a absorción química de CO<sub>2</sub> en disolucións acuosas de DMEN.

Na Figura 38 propóñense unha serie de reacción principais que tratan de explicar o comportamento obtido nos espectros de RMN mostrados na Figura 36 para a absorción de dióxido de carbono en DMEN. En base a ditos espectros, asúmese que a reacción principal é a incorporación de CO<sub>2</sub> en forma de carbamato no grupo amino primario da molécula de DMEN. Como se mostra na primeira reacción, isto implica que un dos grupos amino debe ser protonado; este grupo amino pode ser da mesma molécula ou doutra e pode ser tanto un grupo primario coma un secundario, xa que os datos da constante de disociación ( $K_a$ ) non permiten concluír o grupo que se protonaría preferentemente. Tamén pode acontecer que o protón cambie de grupo amino

tanto na mesma molécula como cara outra molécula e tanto no grupo primario coma no secundario. O mesmo sucedería no caso da protonación do grupo terciario, unha vez que o carbamato xa está formado. Por último, a derradeira reacción mostrada na Figura 38 mostra a hidrólise do carbamato do grupo amino primario para dar bicarbonato. Segundo indican os espectros de RMN previamente comentados, esta última reacción prodúcese nun baixo grao.

Atendendo a todas estas conclusións obtidas en base aos estudos de RMN en concordancia cos estudos de absorción no reactor de burbulleo, propónse como mecanismo de reacción global o indicado na Figura 39, no que o resultado final é a formación do carbamato no grupo amino primario da diamina, mentres que o grupo terciario non reacciona coa auga e o dióxido de carbono (xa que non se observa a formación de ión bicarbonato ata o final do experimento), senón que remata protonándose. Ao final do experimento e cando a concentración de ión carbamato é elevada prodúcese unha lixeira hidrólise deste composto, formándose ión bicarbonato e deixando libre o grupo amino primario de DMEN.

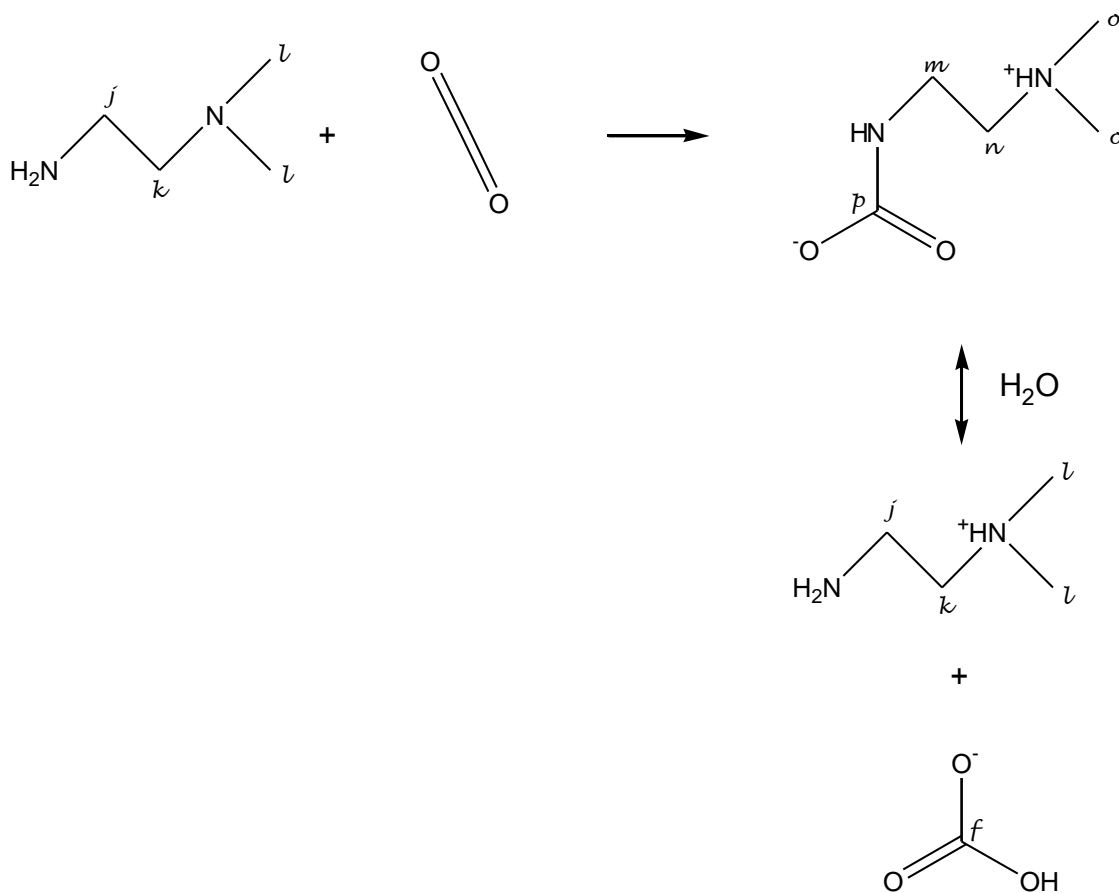


Figura 39. Mecanismo de reacción global proposto para a absorción química de CO<sub>2</sub> en disolucións acuosas de DMEN.

A maiores do propio estudo de especiación empregando espectrometría de RMN, tal e como se fixo para as mesturas de MEA e DMEA, levouse a cabo un seguimento do pH, representándose a súa variación ao longo do experimento na Figura 40 (a). Do mesmo xeito,

establécese a relación carga-pH, representada na Figura 40 (b), que se empregará nos experimentos de captura/ rexeneración en continuo para poder coñecer a carga de  $\text{CO}_2$  do disolvente trala súa rexeneración.

Tal e como se pode comprobar na Figura 40 (a), a medida que se produce a absorción de  $\text{CO}_2$ , o pH tende a valores máis ácidos, sen embargo o comportamento difire do observado para as mesturas de MEA e DMEA, pois apréciáanse tres seccións diferenciadas en lugar de dúas: ao comezo do experimento o pH acidifícase rapidamente dende un valor de 12.0 ata 10.2 aproximadamente, para posteriormente reducirse a intensidade desta variación ata valores de pH próximos a 7.0 e posteriormente reducirse ata un valor próximo a 6.2 de xeito moi atenuado.

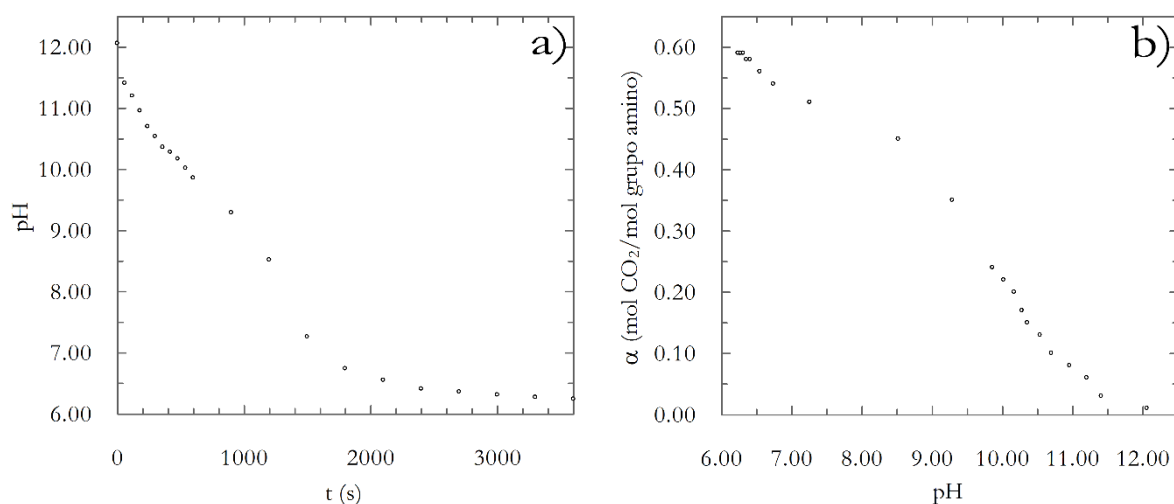


Figura 40. Variación do pH (a) e relación carga-pH (b) para a absorción de  $\text{CO}_2$  en disolución acuosa ( $Q_G=0.330 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $C_B=0.6 \text{ M} - 0.3 \text{ M DMEN}$ ).

Tal e como se concluíu a través dos espectros da Figura 36, o gran descenso inicial no valor do pH corresponderíase coa formación de carbamato mediante a reacción do  $\text{CO}_2$  co nitróxeno primario, pois a valores de pH de 10.4, que se corresponden cun valor de  $\alpha=0.17 \text{ mol CO}_2\cdot\text{mol grupo amino}^{-1}$  segundo a Figura 40 (b), é cando se detecta por vez primeira o sinal ( $\rho$ ) a aproximadamente  $\delta=165 \text{ ppm}$ , un valor de desprazamento químico característico do carbamato de MEA. A posterior variación do pH, moito máis atenuada, podería deberse tanto á hidrólise do carbamato, coma á reacción do  $\text{CO}_2$  co nitróxeno terciario, xa que en ambos procesos se liberaría bicarbonato que establecería un equilibrio bicarbonato – carbonato unicamente dependente do pH do medio; este comportamento sería explicable, en certa forma, mediante calquera dos dous posibles mecanismos de reacción propostos, sen embargo a aparición do sinal ( $f$ ), posiblemente correspondente ao ión bicarbonato, tradúcese nun impacto no pH considerablemente maior que o que ten lugar nos experimentos realizados con MEA, DMEA ou mesturas das mesmas. Ao contrario do que acontecía para as mesturas de MEA e DMEA, a relación carga-pH representada

na Figura 40 (b), describe un comportamento diferente ao observado para o caudal absorbido de CO<sub>2</sub> en disolución acuosa de DMEN (Figura 22), debido tamén ao diferente comportamento do pH co transcurso do experimento.

#### 4.2.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA OS DISTINTOS DISOLVENTES

Á vista dos diferentes mecanismos de reacción propostos conclúese que, mentres que a MEA segue o mecanismo típico das aminas primarias baseado na formación de carbamato. Neste caso, a formación deste composto sofre un proceso posterior de hidrólise en tempos avanzados do experimento de absorción de CO<sub>2</sub> dando lugar o equilibrio bicarbonato-carbonato. Por outra banda, a DMEA segue un mecanismo propio de aminas terciarias, como era de esperar, no que se forma única e exclusivamente bicarbonato que establecerá un equilibrio con carbonato, desprazándose o equilibrio cara un ou outro composto en función do pH do medio.

Tal e como se esperaba, as mesturas de MEA e DMEA amosaron a presenza de ámbolos dous compostos: carbamato e bicarbonato-carbonato; sen embargo observouse unha clara preferencia da reacción de CO<sub>2</sub> pola amina primaria fronte á terciaria, formándose inicialmente carbamato de MEA en ausencia total de bicarbonato-carbonato producido pola amina terciaria (DMEA), para hidrolizarse practicamente por completo a tempos de experimento máis avanzados, dando lugar unicamente a bicarbonato-carbonato. É dicir, o uso de disolucións de MEA e DMEA dá lugar a un carbamato máis inestable ca o uso de MEA de forma individual, feito que permitiría métodos de rexeneración alternativos á vía térmica [24].

No referente ao uso de disolución acuosa de DMEN para a absorción de CO<sub>2</sub>, o mecanismo de reacción proposto é moito mais complicado no que se relaciona coa protonación dos grupos amino. Claramente a reacción do dióxido de carbono co grupo primario é preferente (como sucedía no caso do uso de mesturas a aminas), pero pódese producir a protonación de calquera dos grupos amino, tanto dunha molécula que xa formou carbamato, como dunha molécula de DMEN. O mecanismo global tende a formar o carbamato no grupo amino primario e a protonar o terciario. O carbamato formado é moito máis estable que o xerado coas mesturas ou usando MEA pura en disolución acuosa. Este feito, que se observa pola pouca cantidade de bicarbonato formado e por unha carga de CO<sub>2</sub> baixa, é coherente cunha estequiometría 2:1 (mol CO<sub>2</sub>:mol grupo amino).

### 4.3. ESTUDOS DE CAPTURA/REXENERACIÓN EN CONTINUO

Co obxectivo de analizar o posible uso no entorno industrial dos disolventes estudados leváronse a cabo experimentos de captura de CO<sub>2</sub> e rexeneración do disolvente en continuo simulando, a escala de laboratorio, o que acontecería nunha instalación industrial típica coma a amosada na Figura 5. Para dito fin, e seguindo o proceso descrito no apartado “3.4 Metodoloxía en Estudos de Captura/Rexeneración en Continuo”, realizáronse experimentos cos tres disolventes químicos estudados: mestura acuosa de MEA e DMEA (equimolar e con maior proporción de amina primaria) e disolución acuosa de DMEN.

Datos bibliográficos previos [36] amosan como unha mestura acuosa de MEA e DMEA con maior proporción de amina terciaria presenta unha capacidade cíclica (uso trala súa rexeneración) inferior á acadada con disolucións acuosas de MEA e con tendencia a reducirse esta vantaxe ao aumentar a proporción de DMEA na mestura, fenómeno indicativo de que a DMEA presenta unha mala rexeneración térmica. Os estudos de mesturas acuosas destas aminas levados acabo no presente Traballo Fin de Máster permitirán ampliar a visión desta influencia no proceso global cando a proporción de amina primaria no disolvente é superior ou igual á de amina terciaria.

Os resultados obtidos permitirán analizar a influencia do caudal da fase líquida, do caudal de gas alimentado e da propia natureza do disolvente no proceso global de captura/ rexeneración de CO<sub>2</sub>, prestando atención non só á absorción senón tamén á capacidade de rexeneración que amosen os distintos disolventes baixo as condicións estudadas.

Tal e como se pode observar nas representacións (a) da Figura 41, Figura 43 e Figura 45 xa nos primeiros momentos do experimento, a medida de do caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido non aporta valores continuos senón que se observa unha oscilación<sup>12</sup> practicamente constante duns  $\pm 0.2 \cdot 10^4$  mol CO<sub>2</sub>·s<sup>-1</sup>. Por este motivo, decidiuse representar o valor medio de  $N_A$ , para cada caudal de gas e líquido, obtido tras acadarse o estado estacionario da operación.

#### 4.3.1. CAPTURA/REXENERACIÓN EN CONTINUO EN MESTURA DE MEA E DMEA

Dados os prometedores resultados obtidos para os procesos de captura de CO<sub>2</sub> por absorción empregando mesturas acuosas de MEA e DMEA e coa finalidade de levar a cabo un estudo completo da súa posible aplicación a nivel industrial, abordouse o análise do comportamento deste disolvente durante a captura de dióxido de carbono e rexeneración térmica do disolvente en continuo.

---

<sup>12</sup> Se ben se descoñece o motivo real desta oscilación, é moi probable que se debese aos impulsos da bomba peristáltica que promoven o fluxo de disolvente pola instalación, retirándose líquido da columna de burbulleo con cada impulso e causando así a diminución da corrente de CO<sub>2</sub> que sae da mesma, alterando a medida rexistrada polo caudalímetro M-5SLMP-D.

**MESTURA DE MEA (50%) E DMEA (50%)**

Para un primeiro estudo do proceso de captura/rexeneración en continuo con mestura acuosa de MEA e DMEA empregouse un disolvente de concentración 0.6 M en grupos amino, cunha relación equimolar de MEA e DMEA. Para o análise da influencia do caudal de líquido e gas no proceso fixouse, nun primeiro momento, un caudal de líquido de 1.59 mL·s<sup>-1</sup>, para o cal se variou o CO<sub>2</sub> alimentado entre 0.330, 0.230 e 0.130 L·min<sup>-1</sup>. Posteriormente cambiouse o caudal de líquido a 1.19 mL·s<sup>-1</sup>, variando do mesmo xeito a alimentación de gas, para concluír o experimento realizando as mesmas variacións, esta vez a un caudal de líquido de 0.79 mL·s<sup>-1</sup>. A evolución no caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido ao longo de todo o experimento amósase na Figura 41, indicando mediante un código de cores os diferentes caudais de líquido empregados.

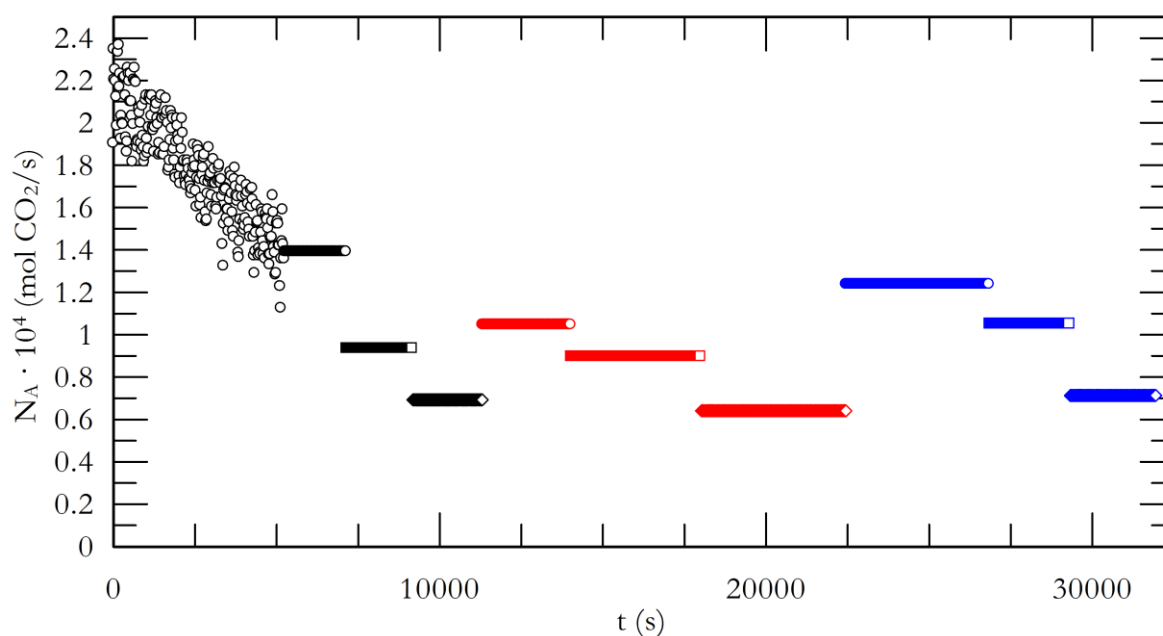


Figura 41. Valores medios nos estados estacionarios para o proceso de captura e rexeneración de CO<sub>2</sub> en continuo en disolución acuosa (C<sub>B</sub>=0.6 M - 0.3 M MEA + 0.3 M DMEA): (○) Q<sub>G</sub>=0.330 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=1.59 mL/s, (□) Q<sub>G</sub>=0.230 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=1.59 mL/s, (◇) Q<sub>G</sub>=0.130 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=1.59 mL/s, (◐) Q<sub>G</sub>=0.330 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=1.19 mL/s, (◑) Q<sub>G</sub>=0.230 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=1.19 mL/s, (◒) Q<sub>G</sub>=0.130 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=1.19 mL/s, (◓) Q<sub>G</sub>=0.330 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=0.79 mL/s, (◔) Q<sub>G</sub>=0.230 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=0.79 mL/s, (◕) Q<sub>G</sub>=0.130 L/min CO<sub>2</sub> e Q<sub>L</sub>=0.79 mL/s.

Tanto os cambios no caudal de líquido coma as variacións do caudal de gas presentan certa influencia sobre a absorción de CO<sub>2</sub>, sen embargo, co fin de analizar cada unha destas influencias por separado, na Figura 42 (a) represéntase o valor medio de  $N_A$  acadado no estado estacionario para cada caudal de líquido en función do caudal de gas alimentado, independentemente do tempo do experimento.

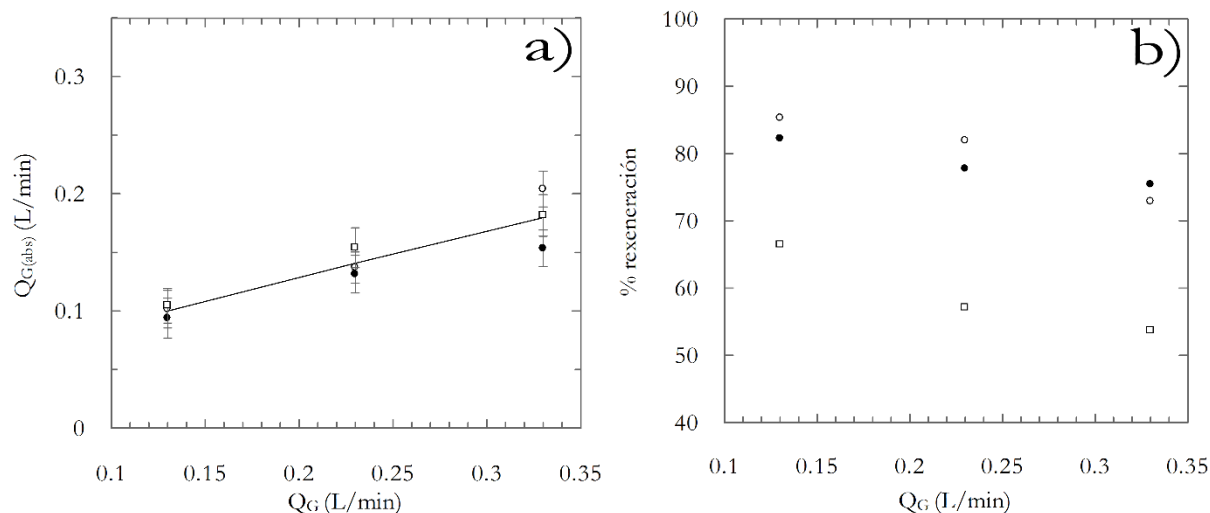


Figura 42. Dependencia do caudal absorbido de CO<sub>2</sub> (a) e da capacidade de rexeneración do disolvente (b) cos caudais de líquido e de CO<sub>2</sub> alimentados para o sistema de captura e rexeneración de CO<sub>2</sub> en continuo para a disolución acuosa ( $C_B=0.6 \text{ M} - 0.3 \text{ M MEA} + 0.3 \text{ M DMEA}$ ): (○)  $Q_L=1.59 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ , (●)  $Q_L=1.19 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$  e (◻)  $Q_L=0.79 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Un aumento no caudal de CO<sub>2</sub> alimentado leva ao ascenso de  $N_A$ , independentemente da velocidade á que o líquido circule pola instalación.

En canto á influencia do caudal de disolvente, non se observa unha tendencia clara do seu efecto na absorción, pasando de acadarse mellores resultados para un caudal de líquido de  $0.79 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$  con caudais de gas alimentado de  $0.130$  e  $0.230 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> a acadarse unha mellor absorción co caudal de disolvente de  $1.59 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$  cando se alimentan  $0.330 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  de gas. Por este motivo, móstrase cada valor medio de  $N_A$  (obtido para cada caudal de gas alimentado) coas liñas representativas do erro na medida causado polas oscilacións na mesma (incerteza da medida). Ditas liñas de erro solápanse en certas zonas; de feito a representación do valor medio de  $N_A$  obtido para cada caudal de gas alimentado pasa por todas as zonas de erro para cada medida simultaneamente, feito que denota que a influencia do caudal de líquido no proceso de absorción se pode considerar, ademais de pouco clara, insignificante.

Pola contra si que se observan tendencias claras do efecto de cada un dos caudais estudados na porcentaxe de rexeneración por vía térmica, representada na Figura 42 (b). En canto ao caudal de CO<sub>2</sub> alimentado, pode verse que un aumento do mesmo causa, en todos os casos, unha peor rexeneración do disolvente, algo lóxico tendo en conta que tamén se está a absorber unha maior cantidade de CO<sub>2</sub> (incrementáase a cantidade de produtos na corrente de saída do absorbedor). No tocante ao caudal de disolvente, un aumento do mesmo mellora en liñas xerais a rexeneración que ten lugar na caldeira, se ben cando se alimenta un caudal de gas de  $0.330 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e se mantén o disolvente circulando pola instalación a  $1.59 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$  se consegue unha rexeneración lixeiramente peor á acadada cun caudal de líquido de  $1.19 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ ; en todo caso, existe unha maior diferenza

entre empregar un caudal de disolvente baixo ( $0.79 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ou empregar calquera dos outros caudais estudados, chegando a supoñer o feito de traballar a caudais baixos unha rexeneración un 30% menor aproximadamente. Este feito pode deberse a que ao aumentar o caudal de líquido se diminúe o tempo de residencia no absorbedor, e polo tanto xérase unha menor carga de CO<sub>2</sub> (menor cantidade de produtos de reacción) e polo tanto a rexeneración é máis efectiva.

#### MESTURA DE MEA (83.3%) E DMEA (16.7%)

Levou-se a cabo un segundo estudo do proceso de captura/ rexeneración en continuo coa mestura acuosa de MEA e DMEA para o cal se empregou un disolvente de concentración  $0.6 \text{ M}$  en grupos amino, sendo un  $83.3\%$  de procedentes de MEA e un  $16.7\%$  de DMEA. Para o análise da influencia do caudal de líquido e gas no proceso fixouse ao igual que no apartado anterior, nun primeiro momento, un caudal de líquido de  $1.59 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ , para o cal se variou o CO<sub>2</sub> alimentado entre  $0.330$ ,  $0.230$  e  $0.130 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Posteriormente cambiouse o caudal de líquido a  $1.19 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ , variando do mesmo xeito a alimentación de gas, para concluir o experimento realizando as mesmas variacións, esta vez a un caudal de líquido de  $0.79 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ . A evolución no caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido ao longo de todo o experimento amósase na Figura 43 indicando mediante un código de cores os diferentes caudais de líquido empregados.

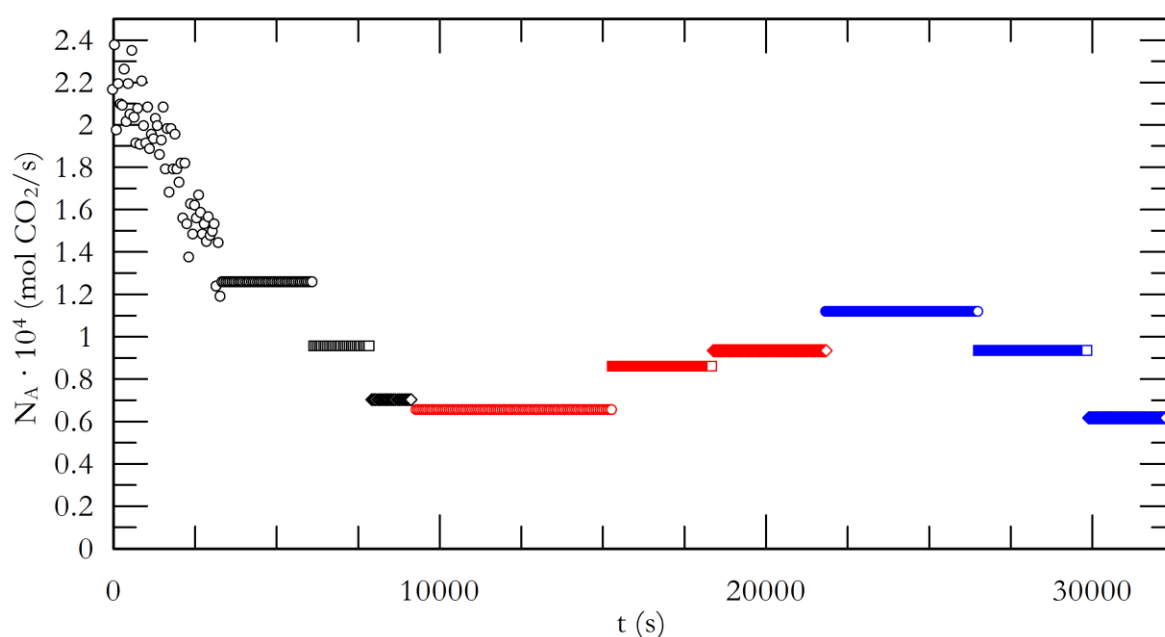


Figura 43. Valores medios nos estados estacionarios para o proceso de captura e rexeneración de CO<sub>2</sub> en continuo en disolución acuosa ( $C_B=0.6 \text{ M} - 0.5 \text{ M MEA} + 0.1 \text{ M DMEA}$ ): (o)  $Q_G=0.330 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=1.59 \text{ mL/s}$ , (□)  $Q_G=0.230 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=1.59 \text{ mL/s}$ , (◇)  $Q_G=0.130 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=1.59 \text{ mL/s}$ , (◊)  $Q_G=0.130 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=1.19 \text{ mL/s}$ , (□)  $Q_G=0.230 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=1.19 \text{ mL/s}$ , (◇)  $Q_G=0.330 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=1.19 \text{ mL/s}$ , (o)  $Q_G=0.330 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=0.79 \text{ mL/s}$ , (□)  $Q_G=0.230 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=0.79 \text{ mL/s}$ , (◇)  $Q_G=0.130 \text{ L/min CO}_2$  e  $Q_L=0.79 \text{ mL/s}$ .

Neste caso non se seguiu a mesma orde na variación do caudal de gas alimentado ao reactor, senón que se mantivo unha alimentación de  $0.130 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  tralo cambio do caudal de disolvente de  $1.59$  a  $1.19 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ , para comprobar se o feito de variar un só dos caudais estudados conseguía diminuír as oscilacións na medida, feito que non se cumpriu.

Coma no caso anterior, tanto os cambios no caudal de líquido coma as variacións do caudal de gas presentan certa influencia sobre a absorción de CO<sub>2</sub>. Co fin de analizar cada unha destas influencias por separado, na Figura 44 (a) represéntase o valor medio de  $N_A$  acadado no estado estacionario, para cada caudal de líquido e en función do caudal de gas alimentado, independentemente do tempo do experimento.

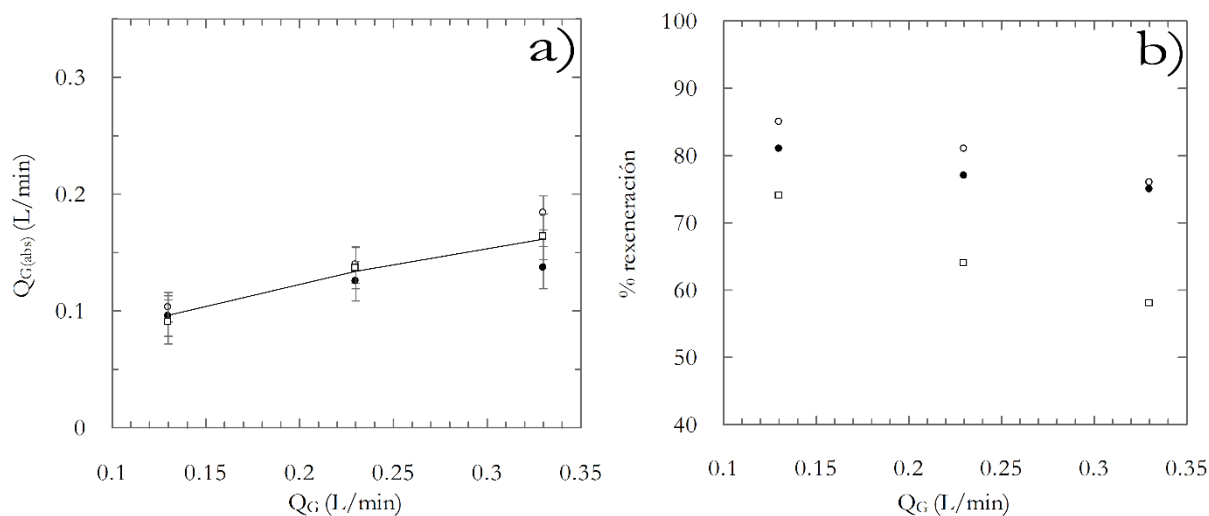


Figura 44. Dependencia do caudal absorbido de CO<sub>2</sub> (a) e da capacidade de rexeneración do disolvente (b) cos caudais de líquido e de CO<sub>2</sub> alimentados para o sistema de captura e rexeneración de CO<sub>2</sub> en continuo para a disolución acuosa ( $C_B=0.6 \text{ M}$  -  $0.5 \text{ M}$  MEA +  $0.1 \text{ M}$  DMEA): ( $\circ$ )  $Q_L=1.59 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ , ( $\bullet$ )  $Q_L=1.19 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$  e ( $\square$ )  $Q_L=0.79 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Un aumento no caudal de CO<sub>2</sub> alimentado leva, coma no caso anterior, ao ascenso de  $N_A$ , independentemente da velocidade á que o líquido circule pola instalación.

En canto á influencia do caudal de disolvente, tampouco se observa unha tendencia clara do seu efecto na absorción (os maiores caudais de CO<sub>2</sub> absorbidos obsérvanse a un maior caudal de líquido na instalación, de  $1.59 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ , mentres que para o caudal de líquido intermedio,  $1.19 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ , se aprecian os valores máis baixos de  $N_A$ ). Por este motivo, na representación da Figura 44 (a), móstrase cada valor medio de  $N_A$  (obtido para cada caudal de gas alimentado) coas liñas representativas do erro na medida. Neste caso, non todas as liñas se solapan nunha zona pola que pase a representación do valor medio de  $N_A$  obtido para cada caudal de gas alimentado, feito que denota que se ben a influencia do caudal de líquido no proceso de absorción é pouco clara, non é de todo insignificante.

Pola contra obsérvanse tendencias claras do efecto de cada un dos caudais estudados na porcentaxe de rexeneración por vía térmica, representada na Figura 44 (b). En canto ao caudal de CO<sub>2</sub> alimentado, pode verse que un aumento do mesmo causa, para todos os caudais de líquido empregados, unha peor rexeneración do disolvente (coma no caso anterior, tamén se está a absorber unha maior cantidade de CO<sub>2</sub>, feito que podería ser causante desta peor rexeneración). En canto ao caudal de disolvente, un aumento do mesmo mellora a rexeneración térmica, existindo unha maior diferenza entre o uso dun caudal de disolvente baixo (0.79 mL·s<sup>-1</sup>) ou empregar calquera dos outros caudais estudados, aumentando esta variación na rexeneración a medida que se aumenta o caudal de CO<sub>2</sub> alimentado, pasando dunha diferenza de aproximadamente un 10% na rexeneración entre o caudal máis alto e máis baixo de disolvente cando se alimentan 0.130 L·min<sup>-1</sup> de gas a un 20% aproximadamente ao alimentar 0.330 L·min<sup>-1</sup>.

#### 4.3.2. CAPTURA/REXENERACIÓN EN CONTINUO EN DMEN

Como se comentou anteriormente, os disolventes empregados a nivel industrial adoitan posuír concentracións de amina superiores ás estudadas neste Traballo Fin de Máster, e a ditas concentracións as mesturas acuosas de MEA e DMEA teñen unha maior viscosidade que as disolucións acuosa de DMEN [37], polo que o proceso de absorción empregando como disolvente químico a diamina podería chegar a presentar mellores resultados. Co fin de analizar tamén a rexeneración e coñecer como se comportaría este disolvente no proceso global abordouse o análise do comportamento deste disolvente durante a captura de dióxido de carbono e rexeneración térmica do disolvente en continuo.

Da mesma forma que coas mesturas acuosas de MEA e DMEA, levouse a cabo un estudo do proceso de captura/ rexeneración en continuo con disolución acuosa de DMEN para o cal se empregou un disolvente de concentración 0.6 M en grupos amino. Para o análise da influencia do caudal de líquido e gas no proceso fíxose, coma en experimentos anteriores, nun primeiro momento, un caudal de líquido de 1.59 mL·s<sup>-1</sup>, para o cal se variou o CO<sub>2</sub> alimentado entre 0.330, 0.230 e 0.130 L·min<sup>-1</sup>. Posteriormente cambiouse o caudal de líquido a 1.19 mL·s<sup>-1</sup>, variando do mesmo xeito a alimentación de gas, para concluír o experimento realizando as mesmas variacións, esta vez a un caudal de líquido de 0.79 mL·s<sup>-1</sup>. A evolución no caudal molar de CO<sub>2</sub> absorbido ao longo de todo o experimento amósase na Figura 45 indicando mediante un código de cores os diferentes caudais de líquido empregados.

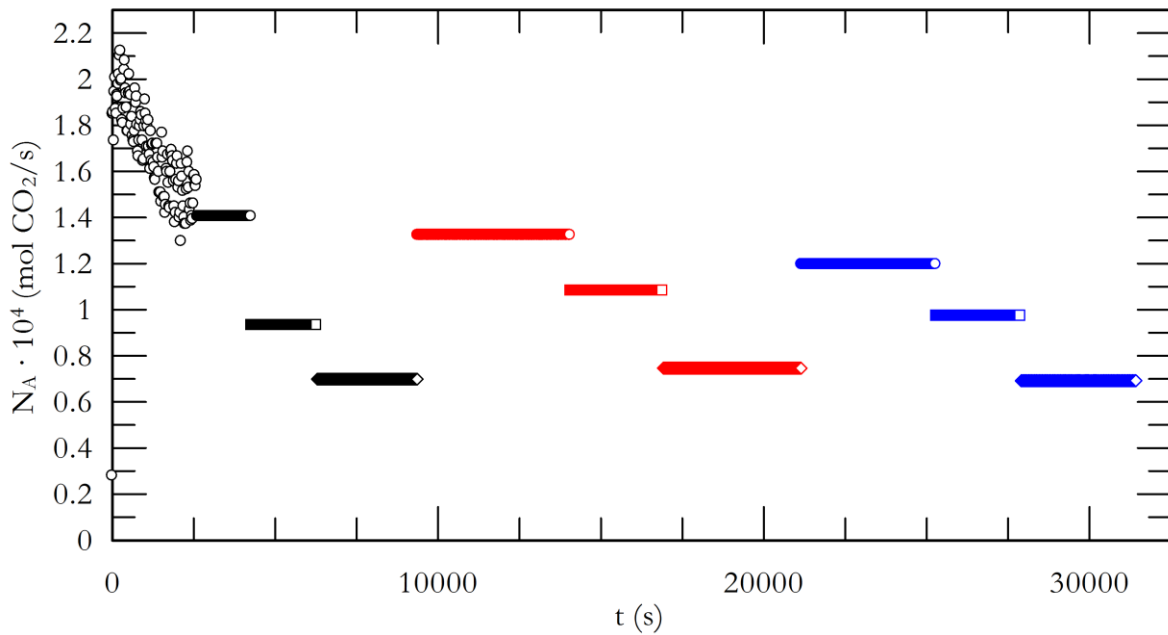


Figura 45. Valores medios nos estados estacionarios para o proceso de captura e rexeneración de CO<sub>2</sub> en continuo en disolución acuosa ( $C_B=0.6$  M - 0.3 M DMEN): (○)  $Q_G=0.330$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=1.59$  mL/s, (□)  $Q_G=0.230$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=1.59$  mL/s, (◇)  $Q_G=0.130$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=1.59$  mL/s, (○)  $Q_G=0.330$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=1.19$  mL/s, (□)  $Q_G=0.230$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=1.19$  mL/s, (◇)  $Q_G=0.130$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=1.19$  mL/s, (○)  $Q_G=0.330$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=0.79$  mL/s, (□)  $Q_G=0.230$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=0.79$  mL/s, (◇)  $Q_G=0.130$  L/min CO<sub>2</sub> e  $Q_L=0.79$  mL/s.

Coma nos casos anteriores, tanto os cambios no caudal de líquido coma as variacións do caudal de gas inflúen sobre a absorción de CO<sub>2</sub>. Co fin de analizar cada unha destas influencias por separado, na Figura 46 (a) represéntase o valor medio de  $N_A$  acadado no estado estacionario, para cada caudal de líquido e en función do caudal de gas alimentado, independentemente do tempo do experimento.

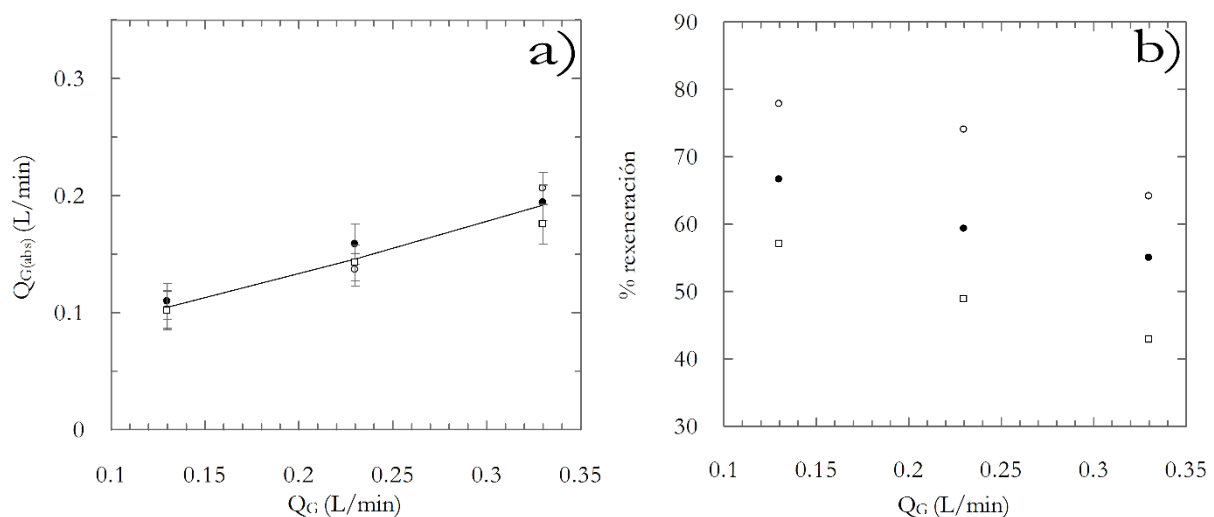


Figura 46. Dependencia do caudal absorbido de CO<sub>2</sub> (a) e da capacidade de rexeneración do disolvente (b) cos caudais de líquido e de CO<sub>2</sub> alimentados para o sistema de captura e rexeneración de CO<sub>2</sub> en continuo para a disolución acuosa ( $C_B=0.6$  M - 0.3 M DMEN): (○)  $Q_L=1.59$  mL·s<sup>-1</sup>, (●)  $Q_L=1.19$  mL·s<sup>-1</sup> e (□)  $Q_L=0.79$  mL·s<sup>-1</sup>.

Un aumento no caudal de CO<sub>2</sub> alimentado leva, coma en todos os casos anteriores analizados, ao ascenso de  $N_A$  independentemente da velocidade á que o líquido circule pola instalación.

En canto á influencia do caudal de disolvente, non se consegue observar tampouco unha tendencia clara do seu efecto na absorción (os maiores caudais de CO<sub>2</sub> absorbidos obsérvanse a un caudal medio de líquido na instalación, de 1.19 mL·s<sup>-1</sup>, mentres que para os valores máis baixos de  $N_A$  se reparten entre as experiencias con caudais de líquido baixos e altos (0.79 e 1.59 mL·s<sup>-1</sup>, respectivamente). Por este motivo, na representación da Figura 46 (a), móstrase cada valor medio de  $N_A$  (obtido para cada caudal de gas alimentado) coas liñas representativas do erro na medida. Como acontecía para os experimentos levados a cabo con mestura acuosa de MEA e DMEA 0.6M en proporción equimolar, todas as liñas se solapan nunha zona pola que pasa a representación do valor medio de  $N_A$  obtido para cada caudal de gas alimentado, feito que denota que a influencia do caudal de líquido no proceso de absorción é pouco clara e probablemente insignificante.

Pola contra, e coincidindo co obtido en experimentos con mesturas, si se observan tendencias claras do efecto de cada un dos caudais estudados na porcentaxe de rexeneración por vía térmica, representada na Figura 46 (b). En canto ao caudal de CO<sub>2</sub> alimentado, pode verse que un aumento do mesmo causa, para todos os caudais de líquido empregados, unha peor rexeneración do disolvente (coma no caso anterior, tamén se está a absorber unha maior cantidade de CO<sub>2</sub>, feito que podería posiblemente cause esta peor rexeneración). En canto ao caudal de disolvente, un aumento do mesmo mellora, para todos os caudais de CO<sub>2</sub> de entrada empregados, a rexeneración térmica. Neste caso e a diferenza do visto coas mesturas acuosas de MEA e DMEA, a capacidade de rexeneración térmica si mostra unha relación proporcional ao caudal de líquido alimentado, obténdose as mellores rexeneracións para o caudal de líquido de 1.59 mL·s<sup>-1</sup>, os valores intermedios para 1.19 mL·s<sup>-1</sup> e as peores rexeneracións para 0.79 mL·s<sup>-1</sup>. Debido a isto, as diferenzas na capacidade de rexeneración en continuo acadadas foron de aproximadamente un 10% entre cada caudal de líquido estudado, coa excepción da variación entre o caudal medio e o caudal alto para un  $Q_G$  de 0.230 L·min<sup>-1</sup> onde se acada unha diferenza lixeiramente superior.

#### 4.3.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA OS DISTINTOS DISOLVENTES

Á vista dos diferentes comportamentos observados para as mesturas acuosas de MEA e DMEA e a disolución acuosa de DMEN, e co obxectivo de establecer unha mellor equiparación entre a posible actuación dos mesmos nunha instalación de captura de CO<sub>2</sub> por absorción e rexeneración do disolvente en continuo, comparáronse distintos parámetros clave en dita operación como son a carga de CO<sub>2</sub> coa que o disolvente abandona a caldeira onde ten lugar a rexeneración térmica, na Figura 47 (a), a carga de CO<sub>2</sub> adquirida polo disolvente durante o seu



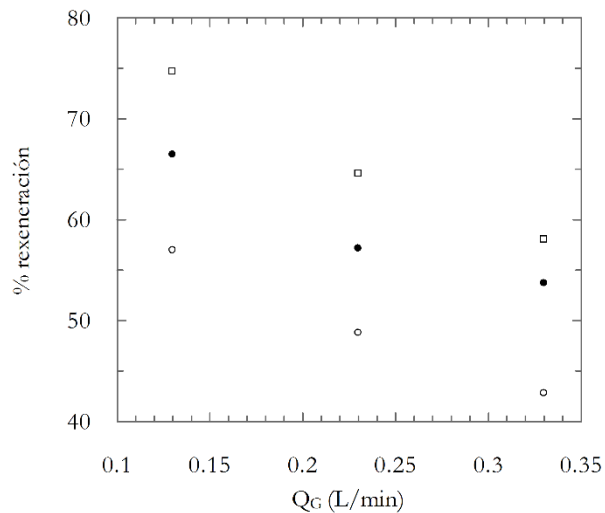


Figura 48. Dependencia da capacidade de rexeneración do disolvente co caudal de  $\text{CO}_2$  alimentado para o sistema de captura e rexeneración de  $\text{CO}_2$  en continuo para as distintas disolucións acuosas estudadas ( $C_B=0.6$  M,  $Q_L=0.79$  mL/s): (○) 0.3 M DMEN, (●) 0.3 M MEA + 0.3 M DMEA, (□) 0.5 M MEA + 0.1 M DMEA.

Existe unha diferenza dun  $\sim 18\%$  entre a capacidade de rexeneración da mesturas acuosa equimolar de MEA e DMEA e a disolución acuosa de DMEN, que se mantén practicamente constante independentemente do caudal de  $\text{CO}_2$  que se alimente ao sistema. Pola contra, a diferenza entre a rexeneración acadada pola mestura acuosa de MEA e DMEA con relación equimolar e a mestura con maior proporción de amina primaria amosa certas variacións, reducíndose progresivamente co aumento do caudal de gas alimentado, pasando unha diferenza do  $\sim 9\%$  a unha do  $\sim 3\%$ . En todo caso, a mestura acuosa cun 83.3% de grupos aminos procedentes de MEA e un 16.7% procedentes de DMEA consegue acadar as maiores porcentaxes de rexeneración.



## 5. CONCLUSIÓN



## 5. CONCLUSIONES

A partir dos resultados obtidos nos diferentes experimentos e análises que foron realizados no presente Trabajo Fin de Máster, obtéñense varias conclusións relacionadas coa absorción de CO<sub>2</sub> nos diferentes disolventes químicos estudados. Ademais, tralos distintos experimentos de captura/rexeneración en continuo obtéñense conclusións de grande interese sobre o proceso global, máis equiparable ao que supoñería unha implantación deste tipo de sistemas nun entorno industrial.

### 5.1. ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

Mediante a comparación dos resultados obtidos nos diferentes experimentos de absorción de CO<sub>2</sub>, chégase á conclusión de que a presenza de calquera das aminas estudadas no disolvente contribúe de maneira positiva á captura de CO<sub>2</sub>, polo que os procesos de absorción química presentan maior utilidade ca os de absorción física.

A cinética de absorción de CO<sub>2</sub> da amina terciaria empregada, DMEA, é máis lenta que a mostrada pola amina primaria MEA, sen embargo as disolucións acuosas de DMEA acadan valores de carga máxima de CO<sub>2</sub> lixeiramente superiores ca MEA. O estudo das mesturas acuosas destas dúas aminas amosa resultados prometedores: mentres que se mantén unha cinética de absorción rápida similar á da amina primaria, o valor da carga máxima de CO<sub>2</sub> ascende debido á presenza da amina terciaria; ademais, estes efectos positivos consérvanse ao diminuír a proporción de amina terciaria na mestura, mentres que os cambios na cinética de absorción e na carga de CO<sub>2</sub> son moi reducidos.

O uso de disolucións acuosas de DMEN para a absorción de CO<sub>2</sub> dá resultados peores en comparación coas mesturas acuosas de MEA e DMEA, presentando unha cinética de absorción similar aínda que lixeiramente máis lenta e unha carga máxima de CO<sub>2</sub> notablemente inferior. Sen embargo, atendendo aos datos bibliográficos para propiedades físicas do disolvente como serían a súa viscosidade ou densidade [37], o traballo con disolventes máis concentrados (como acontecería no ámbito industrial) podería supoñer un empeoramento da absorción de CO<sub>2</sub> con mesturas de aminas, facendo que o uso da diamina puidese levar a melloras no proceso; para chegar a unha conclusión máis acertada neste aspecto precisaríanse levar a cabo comparacións adicionais de absorción con disolventes máis concentrados.

En calquera dos casos estudados, un aumento da concentración de amina no disolvente implica un aumento do CO<sub>2</sub> capturado, concluíndo que se debería de traballar a concentracións de amina elevadas.

O caudal de gas alimentado inflúe de maneira importante no proceso de absorción para todos os disolventes estudados, xa que canto maior sexa o caudal de CO<sub>2</sub> alimentado ao reactor menor será o tempo necesario para absorber a mesma cantidade de CO<sub>2</sub>; este efecto está directamente relacionado co aumento da área interfacial, ligado a unha maior retención de gas no reactor. Polo tanto, o uso de caudais elevados de CO<sub>2</sub> representa unha vantaxe fronte ao uso de caudais baixos, sempre e cando non se exceda o seu valor, pois caudais demasiado elevados poderían favorecer fenómenos de coalescencia ou fusión de burbullas, diminuíndo así a área interfacial e porén a absorción de CO<sub>2</sub>.

## 5.2. MECANISMOS DE REACCIÓN DA ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

Tralos estudos de especiación realizados mediante espectrometría RMN de <sup>13</sup>C e <sup>1</sup>H conseguíuse determinar o mecanismo de reacción para os procesos de absorción coas distintas aminas estudadas.

A disolución acuosa de MEA presenta unha estequiometría inicial 2:1 (mol CO<sub>2</sub>:mol MEA) causada pola formación de carbamato, composto que se volve inestable a tempos de operación e a valores de carga de CO<sub>2</sub> elevados e hidrolizándose para formar bicarbonato. Este feito fai que a estequiometría global poda considerarse próxima a 1:1 tendo en conta as dúas reacción en serie.

A disolución acuosa de DMEA presenta unha estequiometría 1:1 (mol CO<sub>2</sub>:mol DMEA) representativa da formación de bicarbonato como único produto da reacción do CO<sub>2</sub> coa amina en disolución acuosa. Este tipo de estequiometría e mecanismo de reacción xustifica a maior carga de CO<sub>2</sub> que se acadada con este disolvente.

A mestura acuosa de MEA e DMEA presenta un mecanismo de reacción que se pode entender coma a combinación dos mecanismos individuais mostrados por MEA e DMEA por separado, pero conducindo a unha estequiometría global 1:1 (mol CO<sub>2</sub>:mol grupo amino); deste xeito, a reacción do CO<sub>2</sub> con MEA toma maior importancia a tempos de operación baixos, promovendo así a formación de carbamato, mentres que a tempos medios e altos se produce a formación de bicarbonato froito da combinación da reacción do CO<sub>2</sub> coa DMEA en disolución acuosa e da hidrólise do carbamato xerado inicialmente, que practicamente desaparece do disolvente ao rematar a absorción. O feito de que o carbamato desapareza case por completo suxire que se poderían empregar métodos de rexeneración distintos do térmico [24].

A disolución acuosa de DMEN presenta un comportamento máis complexo, pero conclúese que o mecanismo de reacción global tende a unha estequiometría 2:1 (mol CO<sub>2</sub>:mol grupo amino) que indica a formación de carbamato por reacción do CO<sub>2</sub> co grupo amino primario e a protonación do grupo terciario. O carbamato formado é moito máis estable que o xerado coas mesturas acuosas de MEA e DMEA ou usando MEA pura en disolución acuosa.

Se ben este feito fai que non se poidan empregar métodos de rexeneración non convencionais, a alta estabilidade do carbamato podería resultar interesante para procesos de síntese de produtos nos cales o carbamato fose unha materia prima de partida.

### 5.3. REXENERACIÓN DE DISOLVENTES QUÍMICOS

Mediante a comparación dos resultados obtidos nos diferentes experimentos de absorción de CO<sub>2</sub> e rexeneración do disolvente en continuo chégase á conclusión de que, mentres que a carga neta CO<sub>2</sub> na columna é similar para os tres disolventes estudados, a mestura acuosa de MEA e DMEA con maior proporción de amina primaria acaba, independentemente do caudal de gas alimentado ou da velocidade á que o disolvente circula pola instalación, unha mellor rexeneración empregando a vía térmica; isto concorda coa tendencia amosada en datos bibliográficos [36] pola cal a presenza dunha maior proporción de DMEA causa unha peor rexeneración.

A mala rexeneración térmica da disolución acuosa de DMEN é coherente coas conclusións extraídas nos experimentos de especiación por RMN, onde se viu que durante a absorción de dióxido de carbono con esta diamina ten lugar a produción dun carbamato máis estable ca o formado na reacción do CO<sub>2</sub> coa MEA, que ademais finalmente tende a derivar na produción de tampón carbonato-bicarbonato.

Non se puido establecer ningunha conclusión clara sobre a influencia do caudal de líquido no proceso de absorción de CO<sub>2</sub> en continuo, pero si se observou que o aumento deste causa un aumento na capacidade de rexeneración de calquera dos disolventes empregados.

En canto ao caudal de dióxido de carbono alimentado ao reactor, un aumento do mesmo conduce a un aumento do caudal de CO<sub>2</sub> absorbido, pero diminúe a capacidade de rexeneración do disolvente.



## 6. BIBLIOGRAFÍA



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **IPCC**, *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, New York, USA: Cambridge University Press, 2005.
- [2] **Naciones Unidas**, *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, 1992. [En liña]: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- [3] **Naciones Unidas**, *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, 1998. [En liña]: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- [4] **F. J. Tamajón Álvarez**, *Tratamiento de Corrientes Gaseosas mediante Absorción en Disoluciones Organo-Acuosas de N-Metildietanolamina*, Vigo: Universidade de Vigo, 2015.
- [5] **Naciones Unidas**, *Convención Marco sobre el Cambio Climático (COP21)*, 2015. [En liña]: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>.
- [6] **P. Rafaj, M. Amann, J. Siri e H. Wuester**, *Changes in European greenhouse gas and air pollutant emissions. 1960-2010: decomposition of determining factors*, *Climatic Change*, pp. 477 - 504, 2014.
- [7] **Scripps Institution of Oceanography - UC San Diego**, *Keeling curve* 2015. [En liña]: <https://scripps.ucsd.edu/keeling-curve>.
- [8] **International Energy Agency**, *CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion - Highlights*, Paris, France: OECD/IEA, 2015.
- [9] **A. García Abuín**, *Carbon Dioxide Capture by means of Cyclic Organic Nitrogen Compounds*, Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela, 2012.
- [10] **A. O. Abass**, *CO<sub>2</sub> capture and separation technologies for end-of-pipe applications - A review*, *Energy*, vol. 35, pp. 2610 - 2628, 2010.
- [11] **B. Thitakamol, A. Veawab e A. Aroonwilas**, *Environmental impacts of absorption-based CO<sub>2</sub> capture unit for post-combustion treatment of flue gas from coal-fired power plant*, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, pp. 318 - 342, 2007.
- [12] **Global CSS Institute**, *Accelerating the uptake of CCS: Industrial use of captured carbon dioxide*, Parsons Brinckerhoff, 2011.
- [13] **A. García Abuín, D. Gómez Díaz, A. B. López, J. M. Navaza e A. Rumbo**, *NMR Characterization of Carbon Dioxide Chemical Absorption with Monoethanolamine, Diethanolamine, and Triethanolamine*, I&EC research (Industrial & Engineering Chemistry Research), vol. 52, pp. 13432 - 13438, 2013.
- [14] **G. F. Versteeg e W. P. M. Van Swaaij**, *On the kinetics between CO<sub>2</sub> and alkanolamines both in aqueous and non-aqueous solutions - An overview*, *Chemical Engineering Communication*, vol. 144, pp. 113 - 158, 1996.

- [15] **D. Barth, C. Tondre, G. Lappai e J. J. Delpuech**, *Kinetic Study of Carbon Dioxide Reaction with Tertiary Amines in Aqueous Solutions*, J. Phys. Chem, vol. 85 (24), pp. 3660 - 3667, 1981.
- [16] **B. P. Mandal, M. Guha, A. K. Biswas e S. S. Bandyopadhyay**, *Removal of carbon dioxide by absorption in mixed amines: Modeling of absorption in aqueous MDEA/MEA and AMP/MEA solutions*, Chemical Engineering Science, vol. 56, pp. 6217 - 6224, 2001.
- [17] **A. B. López, M. D. La Rubia, J. M. Navaza, R. Pacheco e D. Gómez Díaz**, *1 Amine-2-propanol + Triethanolamine Aqueous Blends for Carbon Dioxide Absorption in a Bubble Reactor*, Energy & Fuels, vol. 29, pp. 5237 - 5244, 2015.
- [18] **E. M. Palmero, M. D. La Rubia, A. Sánchez-Bautista, R. Pacheco e S. Sánchez**, *Study of corrosion of AISI 420 in the CO<sub>2</sub> absorption process using 2-amino-2-methyl-1-propanol aqueous solutions*, Corrosion Engineering, Science and Technology, vol. 48 (2), pp. 136 - 142, 2013.
- [19] **A. L. Kohl e R. Nielsen**, *Gas Purification*, 5th ed., Houston: Gulf Publishing Company, 1997.
- [20] **GAS/SPEC Technology Group**, *Understanding corrosion in alkanolamine gas treating plants*, Hydrocarbon Processing, Houston, Gulf Publishing Company, 1993, pp. 75 - 94.
- [21] **G. A. Jean-Marc e C. Bouallou**, *Kinetics of the Absorption of CO<sub>2</sub> in Aqueous Solutions of N-Methyl-diethanolamine + Triethylene Tetramine*, Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 48 (8), pp. 3761 - 3770, 2009.
- [22] **U. E. Aronu, H. F. Svendsen e K. A. Hoff**, *Investigation of amine amino acid salts for carbon dioxide absorption*, Greenhouse Gas Control, vol. 4, pp. 771 - 775, 2010.
- [23] **H. Gao, Z. Liang, H. Liao e R. O. Idem**, *Thermal degradation of aqueous DEEA solution at stripper conditions for post-combustion CO<sub>2</sub> capture*, Chemical Engineering Science, vol. 135, pp. 330 - 342, 2015.
- [24] **A. García Abuín, D. Gómez Díaz e J. M. Navaza**, *New processes for amine regeneration*, Fuel, vol. 135, pp. 191 - 197, 2014.
- [25] **D. Gómez Díaz**, *Use of New Regeneration Processes for Thermolabile Amines*, International Journal of Chemical Reactor Engineering, pp. 1 - 5, 2015.
- [26] **D. García Rielo**, *Nuevo proceso de regeneración de MDEA durante la limpieza de gas natural*, Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela, 2014.
- [27] **J. M. Santamaría, J. Herguido, M. Á. Menéndez e A. Monzón**, *Ingeniería de Reactores*, Madrid: Síntesis S. A., 1999.
- [28] **INSHT**, *Fichas FISQ*, 2016. [En línea]: <http://www.insht.es/portal/site/Insht/>.
- [29] **CARBUROS METÁLICOS**, *Carbueros Metálicos - Grupo Air Products*, 2016. [En línea]: <http://www.carbueros.com/>.

- [30] **SIGMA-ALDRICH**, *SIGMA-ALDRICH*, 2016. [En línea]: <http://www.sigmaaldrich.com/spain.html>.
- [31] **ALFA AESAR**, *Alfa Aesar*, 2016. [En línea]: <https://www.alfa.com/es/>.
- [32] **S. Singto, T. Supap, R. Idem, P. Tontiwachwuthikul e S. tantayanon**, *Development of new amines for post combustion capture of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) absorption*, IEAGHG - IEA Greenhouse Gas R&D, 2015.
- [33] **P. Galindo, A. Schäffer, K. Brechtel, S. Unterberger e G. Scheffknecht**, *Experimental research on the performance of CO<sub>2</sub>-loaded solutions of MEA and DEA at regeneration conditions*, Fuel, núm. 101, pp. 2 - 8, 2012.
- [34] **J. Bentes, A. García Abuín, A. G. Gomes, D. Gómez Díaz, J. M. Navaza e A. Rumbo**, *CO<sub>2</sub> chemical absorption in 3-amino-1-propanol aqueous solutions in BC reactor*, Fuel Processing Technology, núm. 137, pp. 179 - 185, 2015.
- [35] **A. García Abuín, D. Gómez Díaz e J. M. Navaza Dafonte**, *CO<sub>2</sub> Capture by Pyrrolidine: Reaction Mechanism and Mass Transfer*, AIChE Journal, vol. 60, núm. 3, pp. 1098 - 1106, 2014.
- [36] **W. Conway, S. Bruggink, Y. Beyad, W. Luo, I. Melián-Cabrera, G. Puxty e P. Feron**, *CO<sub>2</sub> absorption into aqueous amine blended solutions containing monoethanolamine (MEA), N,N-dimethylethanolamine (DMEA), N,N-diethylethanolamine (DEEA) and 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) for post-combustion capture processes,*» Chemical Engineering Science, vol. 126, pp. 446 - 454, 2015.
- [37] **A. Blanco, A. García Abuín, D. Gómez Díaz e J. M. Navaza Dafonte**, *Density, Speed of Sound, Viscosity, and Surface Tension of Dimethylethylenediamine + Water and (Ethanolamine + Dimethylethanolamine) + Water from T = (293.15 to 323.15) K*, Journal of Chemical Engineering Data, vol. 61, pp. 188 - 194, 2015.
- [38] **W. Böttinger, M. Maiwald e H. Hasse**, *Online NMR spectroscopic study of species distribution in MEA-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> and DEA-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>*, Fluid Phase Equilib, vol. 263, pp. 131 - 143, 2008.
- [39] **J. P. Jakobsen, J. Krane e H. F. Svendsen**, *Liquid-phase composition determination in CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-alkanolamine systems: An NMR study*, Ind. Eng. Chem. Res., vol. 44, pp. 9894 - 9903, 2005.



**ANEXO I:**  
**FICHAS DE SEGURIDADE**



## ANEXO I – FICHAS DE SEGURIDADE

*DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)*

### Safety Data Sheet

Version 1.11  
Revision Date 01/26/2015

SDS Number 300000000021  
Print Date 01/03/2016

#### 1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product name : Carbon dioxide (Refrigerated)

Chemical formula : CO<sub>2</sub>

Synonyms : Carbon dioxide (refrigerated)

Product Use Description : General Industrial

Manufacturer/Importer/Distributor : Air Products and Chemicals, Inc  
7201 Hamilton Blvd.  
Allentown, PA 18195-1501  
GST No. 123600835 RT0001  
QST No. 102753981 TQ0001

Telephone : 1-610-481-4911 Corporate  
1-800-345-3148 Chemicals Cust Serv  
1-800-752-1597 Gases/Electronics Cust Serv

Emergency telephone number (24h) : 800-523-9374 USA  
+1 610 481 7711 International

#### 2. HAZARDS IDENTIFICATION

GHS classification

Gases under pressure - Refrigerated liquefied gas  
Simple Asphyxiant

GHS label elements

Hazard pictograms/symbols



Signal Word: Warning

Hazard Statements:

H281: Contains refrigerated gas; may cause cryogenic burns or injury.

# Safety Data Sheet

Version 1.11

Revision Date 01/26/2015

SDS Number 300000000021

Print Date 01/03/2016

May displace oxygen and cause rapid suffocation.  
May increase respiration and heartrate.

## Precautionary Statements:

**Prevention** : P282:Wear cold insulating gloves/face shield/eye protection.  
**Response** : P315 :Get immediate medical advice/attention.  
P336 :Thaw frosted parts with lukewarm water. Do not rub affected area.  
**Storage** : P403:Store in a well-ventilated place.

## Hazards not otherwise classified

Extremely cold liquid and gas under pressure.  
Direct contact with liquid can cause frostbite.  
Can cause rapid suffocation.  
Avoid breathing gas.  
Self contained breathing apparatus (SCBA) may be required.

## 3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Components	CAS Number	Concentration (Volume)
Carbon Dioxide	124-38-9	100 %

Concentration is nominal. For the exact product composition, please refer to Air Products technical specifications.

## 4. FIRST AID MEASURES

**General advice** : Remove victim to uncontaminated area wearing self contained breathing apparatus. Keep victim warm and rested. Call a doctor. Apply artificial respiration if breathing stopped.

**Eye contact** : In the case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.  
Keep eye wide open while rinsing.

**Skin contact** : In case of frostbite, obtain medical treatment immediately. As soon as practical, place the affected area in a warm water bath- which has a temperature not to exceed 40 °C (105 °F). Do not rub frozen parts as tissue damage may result. Cover wound with sterile dressing.

**Ingestion** : Ingestion is not considered a potential route of exposure.

**Inhalation** : Move to fresh air. If breathing has stopped or is labored, give assisted respirations. Supplemental oxygen may be indicated. If the heart has stopped,

2/10

Air Products and Chemicals, Inc

Carbon dioxide (Refrigerated)

## Safety Data Sheet

Version 1.11

Revision Date 01/26/2015

SDS Number 300000000021

Print Date 01/03/2016

trained personnel should begin cardiopulmonary resuscitation immediately. In case of shortness of breath, give oxygen.

Most important symptoms/effects - acute and delayed

: Exposure to oxygen deficient atmosphere may cause the following symptoms: Dizziness. Salivation. Nausea. Vomiting. Loss of mobility/consciousness. Shivering fit. Sweating. Blurred vision. Headache. Increased pulse rate. Shortness of breath. Rapid respiration.

### 5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing media : All known extinguishing media can be used.

Specific hazards : Spill will rapidly vaporize forming an oxygen deficient vapor cloud. Vapor cloud may obscure visibility. Do not direct water spray at container vent. Move away from container and cool with water from a protected position. Keep containers and surroundings cool with water spray.

Special protective equipment for fire-fighters : Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

### 6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal Precautions, Protective Equipment, and Emergency Procedures : Monitor carbon dioxide level. Evacuate personnel to safe areas. Ventilate the area. Monitor oxygen level. Wear self-contained breathing apparatus when entering area unless atmosphere is proved to be safe.

Environmental precautions : Prevent further leakage or spillage. Prevent from entering sewers, basements and workpits, or any place where its accumulation can be dangerous. Do not discharge into any place where its accumulation could be dangerous.

Methods for cleaning up : Ventilate the area.

Additional advice : If possible, stop flow of product. Increase ventilation to the release area and monitor oxygen level. Vapor cloud may obscure visibility. Do not spray water directly at leak. If leak is from cylinder or cylinder valve, call the Air Products emergency telephone number. If the leak is in the user's system, close the cylinder valve and safely vent the pressure before attempting repairs.

### 7. HANDLING AND STORAGE

#### Handling

Know and understand the properties and hazards of the product before use. Only experienced and properly instructed persons should handle compressed gases/cryogenic liquids. Before using the product, determine its identity by reading the label. Do not remove or deface labels provided by the supplier for the identification of the cylinder contents. Before connecting the container, check the complete gas system for suitability, particularly for pressure rating and materials. Before connecting the container for use, ensure that back feed from the system into the container is prevented. Close container valve after each use and when empty, even if still connected to equipment. Never attempt to repair or modify container valves or safety relief devices. Damaged valves should

3/10

Air Products and Chemicals, Inc

Carbon dioxide (Refrigerated)

# Safety Data Sheet

Version 1.11

Revision Date 01/26/2015

SDS Number 300000000021

Print Date 01/03/2016

be reported immediately to the supplier. If user experiences any difficulty operating cylinder valve discontinue use and contact supplier. Do not remove or interchange connections. Ensure the complete gas system has been checked for leaks before use. Prevent entrapment of cryogenic liquid in closed systems not protected with relief device. A small quantity of liquid produces large volumes of vaporized gas at atmospheric pressure. Containers used in shipment, storage, and transfer of cryogenic liquid are specially designed, well-insulated containers equipped with a pressure relief device and valves to control pressure. Under normal conditions, these containers will periodically vent product to limit pressure buildup. Ensure that the container is in a well-ventilated area to avoid creating an oxygen-deficient atmosphere. Use adequate pressure relief in systems and piping to prevent pressure buildup; liquid in a closed container can generate extremely high pressures when vaporized by warming. Employ suitable pressure regulating devices on all containers when the gas is being emitted to systems with lower pressure rating than that of the container. Only transfer lines designed for cryogenic liquids shall be used. Do not subject containers to abnormal mechanical shock. When moving cylinders, even for short distances, use a cart (trolley, hand truck, etc.) designed to transport cylinders. When doubt exists as to the correct handling procedure for a particular gas, contact the supplier.

## Storage

Open/close valve slowly. Close when not in use. Wear Safety Eye Protection. Check Safety Data Sheet before use. Use a back flow preventative device in the piping. Do not change or force fit connections. Close valve after each use and when empty. Always keep container in upright position. Read and follow the Safety Data Sheet (SDS) before use. Do not allow storage temperature to exceed 50°C (122°F). Containers should be stored in a purpose build compound which should be well ventilated, preferably in the open air. Full containers should be stored so that oldest stock is used first. Do not store in a confined space. Full and empty cylinders should be segregated. Store containers in location free from fire risk and away from sources of heat and ignition. Return empty containers in a timely manner. Stored containers should be periodically checked for general condition and leakage. Protect containers stored in the open against rusting and extremes of weather. Containers should not be stored in conditions likely to encourage corrosion. Cryogenic containers are equipped with pressure relief devices to control internal pressure. Under normal conditions these containers will periodically vent product. All vents should be piped to the exterior of the building. Observe all regulations and local requirements regarding storage of containers.

## 8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

### Engineering measures

- Provide natural or mechanical ventilation to prevent accumulation above exposure limits.
- Natural or mechanical to prevent oxygen deficient atmospheres below 19.5% oxygen.
- Keep self contained breathing apparatus readily available for emergency use.

### Personal protective equipment

- |                        |   |
|------------------------|---|
| Respiratory protection | : Self contained breathing apparatus (SCBA) or positive pressure airline with mask are to be used in oxygen-deficient atmosphere.<br>Air purifying respirators will not provide protection. Users of breathing apparatus must be trained.   |
| Hand protection        | : Wear working gloves when handling gas containers.<br>If the operation involves possible exposure to a cryogenic liquid, wear loose fitting thermal insulated or cryo-gloves.<br>Chemical-resistant, impervious gloves complying with an approved standard should be worn at all times when handling chemical products if a risk assessment indicates this is necessary. |

4/10

Air Products and Chemicals, Inc

Carbon dioxide (Refrigerated)

**Safety Data Sheet**Version 1.11  
Revision Date 01/26/2015SDS Number 300000000021  
Print Date 01/03/2016

Eye protection	: Safety glasses recommended when handling cylinders. Protect eyes, face and skin from liquid splashes. Wear goggles and a face shield when transferring or breaking transfer connections.
Skin and body protection	: Never allow any unprotected part of the body to touch uninsulated pipes or vessels which contain cryogenic fluids. The extremely cold metal will cause the flesh to stick fast and tear when one attempts to withdraw from it. Safety shoes are recommended when handling cylinders.
Special instructions for protection and hygiene	: Ensure adequate ventilation, especially in confined areas.

**Exposure limit(s)**

Carbon Dioxide	Time Weighted Average (TWA): ACGIH	5,000 ppm	-
Carbon Dioxide	Short Term Exposure Limit (STEL): ACGIH	30,000 ppm	-
Carbon Dioxide	Recommended exposure limit (REL): NIOSH	5,000 ppm	9,000 mg/m <sup>3</sup>
Carbon Dioxide	Short Term Exposure Limit (STEL): NIOSH	30,000 ppm	54,000 mg/m <sup>3</sup>
Carbon Dioxide	Permissible exposure limit: OSHA Z1	5,000 ppm	9,000 mg/m <sup>3</sup>
Carbon Dioxide	Time Weighted Average (TWA): TN OEL	10,000 ppm	18,000 mg/m <sup>3</sup>
Carbon Dioxide	Short Term Exposure Limit (STEL): TN OEL	30,000 ppm	54,000 mg/m <sup>3</sup>

Remarks : Simple asphyxiant.

**9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

Appearance	: Liquefied gas. Colorless.
Odor	: No odor warning properties.
Odor threshold	: No data available.
pH	: Not applicable.
Melting point/range	: -70 °F (-56.6 °C)
Boiling point/range	: -1,381 °F (-78,5 °C)
Flash point	: Not applicable.
Evaporation rate	: Not applicable.
Flammability (solid, gas)	: Refer to product classification in Section 2
Upper/lower explosion/flammability limit	: No data available.
Vapor pressure	: 831.04 psia (57.30 bara) at 68 °F (20 °C)

5/10

Air Products and Chemicals, Inc

Carbon dioxide (Refrigerated)

# Safety Data Sheet

Version 1.11

Revision Date 01/26/2015

SDS Number 300000000021

Print Date 01/03/2016

Water solubility	: 2.000 g/l
Relative vapor density	: 1.52 (air = 1)
Relative density	: 1.03 (water = 1)
Partition coefficient (n-octano/water)	: Not applicable.
Auto-ignition temperature	: No data available.
Decomposition temperature	: No data available.
Viscosity	: Not applicable.
Molecular Weight	: 44 g/mol

## 10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical Stability	: Stable under normal conditions.
Conditions to avoid	: No data available.
Materials to avoid	: Carbon steel.
Hazardous decomposition products	: No data available.
Possibility of hazardous Reactions/Reactivity	: No data available.

## 11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

### 11.1 Information on toxicological effects

#### Likely routes of exposure

Effects on Eye	: Contact with liquid may cause cold burns/frostbite.
Effects on Skin	: Contact with liquid may cause cold burns/frostbite. May cause severe frostbite.
Inhalation Effects	: Concentrations of 10% CO <sub>2</sub> or more can produce unconsciousness or death. Unlike simple asphyxiants, carbon dioxide has the ability to cause death even when normal oxygen levels (20-21%) are maintained. Carbon Dioxide is physiologically active, affecting circulation and breathing. At concentrations between 2 and 10%, carbon dioxide can cause nausea, dizziness, headache, mental confusion, increased blood pressure and respiratory rate. In high concentrations may cause asphyxiation. Symptoms may include loss of mobility/consciousness. Victim may not be aware of asphyxiation. Asphyxiation

6/10

Air Products and Chemicals, Inc

Carbon dioxide (Refrigerated)

# Safety Data Sheet

Version 1.11  
Revision Date 01/26/2015SDS Number 300000000021  
Print Date 01/03/2016

may bring about unconsciousness without warning and so rapidly that victim may be unable to protect themselves.

**Ingestion Effects** : Ingestion is not considered a potential route of exposure.

**Symptoms** : Exposure to oxygen deficient atmosphere may cause the following symptoms: Dizziness. Salivation. Nausea. Vomiting. Loss of mobility/consciousness. Shivering fit. Sweating. Blurred vision. Headache. Increased pulse rate. Shortness of breath. Rapid respiration.

## Acute toxicity

**Acute Oral Toxicity** : No data is available on the product itself.

**Inhalation** : Unlike simple asphyxiants, carbon dioxide has the ability to cause death even when normal oxygen levels (20-21%) are maintained. 5% CO<sub>2</sub> has been found to act synergistically to increase the toxicity of certain other gases (CO, NO<sub>2</sub>). CO<sub>2</sub> has been shown to enhance the production of carboxy- or methemoglobin by these gases possibly due to carbon dioxide's stimulatory effects on the respiratory and circulatory systems.

**Acute Dermal Toxicity** : No data is available on the product itself.

**Skin corrosion/irritation** : No data available.

**Serious eye damage/eye irritation** : No data available.

**Sensitization.** : No data available.

## Chronic toxicity or effects from long term exposures

**Carcinogenicity** : No data available.

**Reproductive toxicity** : No data is available on the product itself.

**Germ cell mutagenicity** : No data is available on the product itself.

**Specific target organ systemic toxicity (single exposure)** : No data available.

**Specific target organ systemic toxicity (repeated exposure)** : No data available.

**Aspiration hazard** : No data available.

## Delayed and Immediate Effects and Chronic Effects from Short and Long Term Exposure

Not applicable.

7/10

Air Products and Chemicals, Inc

Carbon dioxide (Refrigerated)

### Safety Data Sheet

Version 1.11

Revision Date 01/26/2015

SDS Number 300000000021

Print Date 01/03/2016

### 12. ECOLOGICAL INFORMATION

#### Ecotoxicity effects

Aquatic toxicity : Not applicable.

#### Toxicity to fish - Components

Carbon Dioxide LC50 (1 h) : 240 mg/l

Species : Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss).

Carbon Dioxide LC50 (96 h) : 35 mg/l

Species : Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss).

Toxicity to other organisms : Not applicable.

#### Persistence and degradability

Biodegradability : No data is available on the product itself.

Mobility : No data available.

Bioaccumulation : No data is available on the product itself.

#### Further information

When discharged in large quantities may contribute to the greenhouse effect.

### 13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Waste from residues / unused products : Return unused product in original cylinder to supplier. Contact supplier if guidance is required.

Contaminated packaging : Return cylinder to supplier.

### 14. TRANSPORT INFORMATION

#### DOT

UN/ID No. : UN2187  
Proper shipping name : Carbon dioxide, refrigerated liquid  
Class or Division : 2.2  
Label(s) : 2.2  
Marine Pollutant : No

# Safety Data Sheet

Version 1.11  
Revision Date 01/26/2015SDS Number 300000000021  
Print Date 01/03/2016

## IATA

UN/ID No. : UN2187  
Proper shipping name : Carbon dioxide, refrigerated liquid  
Class or Division : 2.2  
Label(s) : 2.2  
Marine Pollutant : No

## IMDG

UN/ID No. : UN2187  
Proper shipping name : CARBON DIOXIDE, REFRIGERATED LIQUID  
Class or Division : 2.2  
Label(s) : 2.2  
Marine Pollutant : No

## TDG

UN/ID No. : UN2187  
Proper shipping name : CARBON DIOXIDE, REFRIGERATED LIQUID  
Class or Division : 2.2  
Label(s) : 2.2  
Marine Pollutant : No

### Further 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. The transportation information is not intended to convey all specific regulatory data relating to this material. For complete transportation information, contact an Air Products customer service representative.

## 15. REGULATORY INFORMATION

Toxic Substance Control Act (TSCA) 12(b) Component(s):

None.

Country	Regulatory list	Notification
USA	TSCA	Included on Inventory.
EU	EINECS	Included on Inventory.
Canada	DSL	Included on Inventory.
Australia	AICS	Included on Inventory.
Japan	ENCS	Included on Inventory.
South Korea	ECL	Included on Inventory.
China	SEPA	Included on Inventory.
Philippines	PICCS	Included on Inventory.

---

9/10

Air Products and Chemicals, Inc

Carbon dioxide (Refrigerated)

# Safety Data Sheet

Version 1.11

Revision Date 01/26/2015

SDS Number 300000000021

Print Date 01/03/2016

---

EPA SARA Title III Section 312 (40 CFR 370) Hazard Classification  
Acute Health Hazard

US. California Safe Drinking Water & Toxic Enforcement Act (Proposition 65)

This product does not contain any chemicals known to State of California to cause cancer, birth defects or any other harm.

---

## 16. OTHER INFORMATION

Prepared by : Air Products and Chemicals, Inc. Global EH&S Product Safety Department

Telephone : 1-610-481-4911 Corporate  
1-800-345-3148 Chemicals Cust Serv  
1-800-752-1597 Gases/Electronics Cust Serv

Preparation Date : 01/03/2016

For additional information, please visit our Product Stewardship web site at  
<http://www.airproducts.com/productstewardship/>

**SIGMA-ALDRICH**[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)**FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 5.2 Fecha de revisión 19.11.2014

Fecha de impresión 30.11.2015

**SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : 2-(Dimetilamino)-etanol

Referencia : 38990

Marca : Sigma-Aldrich

No. Índice : 603-047-00-0

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

No. CAS : 108-01-0

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**

Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Aptdo. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

**1.4 Teléfono de emergencia**

Teléfono de Urgencia : 704100087

**SECCIÓN 2: Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Líquidos inflamables (Categoría 3), H226  
Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4), H302  
Toxicidad aguda, Inhalación (Categoría 3), H331  
Toxicidad aguda, Cutáneo (Categoría 4), H312  
Corrosión cutáneas (Categoría 1B), H314


Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE**

C	Corrosivo	R34
		R10
Xn	Nocivo	R20/21/22

El texto completo de las frases R mencionadas en esta Sección, se indica en la Sección 16.

**2.2 Elementos de la etiqueta****Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Pictograma 

Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro	
H226	Líquidos y vapores inflamables.
H302 + H312	Nocivo en caso de ingestión o en contacto con la piel
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H331	Tóxico en caso de inhalación.
Declaración(es) de prudencia	
P261	Evitar respirar los vapores.
P280	Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.
P305 + P351 + P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.
P310	Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o a un médico.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

**2.3 Otros Peligros**

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores. Lacrimógeno.

**SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes****3.1 Sustancias**

Sinónimos : *N,N*-Dimethyl-2-hydroxyethylamine  
*N,N*-Dimethylethanolamine

Formula : C<sub>4</sub>H<sub>11</sub>NO  
Peso molecular : 89,14 g/mol  
No. CAS : 108-01-0  
No. CE : 203-542-8  
No. Índice : 603-047-00-0

**Ingredientes peligrosos de acuerdo con el Reglamento (CE) N° 1272/2008**

Componente		Clasificación	Concentración
<b>2-Dimethylaminoethanol</b>			
No. CAS	108-01-0	Flam. Liq. 3; Acute Tox. 4;	<= 100 %
No. CE	203-542-8	Acute Tox. 3; Acute Tox. 4;	
No. Índice	603-047-00-0	Skin Corr. 1B; H226, H302 + H312, H314, H331	

**Ingrediente peligroso según la Directiva 1999/45/CE**

Componente		Clasificación	Concentración
<b>2-Dimethylaminoethanol</b>			
No. CAS	108-01-0	C, R10 - R20/21/22 - R34	<= 100 %
No. CE	203-542-8		
No. Índice	603-047-00-0		

Para el texto completo de las frases de Riesgo y Seguridad mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16

**SECCIÓN 4: Primeros auxilios****4.1 Descripción de los primeros auxilios****Recomendaciones generales**

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.





respiradores y componetes testados y aprobados bajo los estandards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

**Control de exposición ambiental**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

---

**SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas****9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

- |  |   |
|--|---|
| a) Aspecto   | Forma: claro, líquido<br>Color: amarillo claro  |
| b) Olor  | similar a una amina   |
| c) Umbral olfativo                                       | Sin datos disponibles   |
| d) pH  | 10,5 - 11,0 a 100 g/l a 20 °C   |
| e) Punto de fusión/ punto de congelación                 | Punto/intervalo de fusión: -70 °C - lit.  |
| f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición | 134 - 136 °C - lit.   |
| g) Punto de inflamación                                  | 39 °C - copa cerrada  |
| h) Tasa de evaporación                                   | Sin datos disponibles   |
| i) Inflamabilidad (sólido, gas)                          | Sin datos disponibles   |
| j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos | Límites superior de explosividad: 12,2 %(V)<br>Límites inferior de explosividad: 1,4 %(V) |
| k) Presión de vapor                                      | 8,16 hPa a 20 °C  |
| l) Densidad de vapor                                     | 3,08 - (Aire = 1.0)   |
| m) Densidad relativa                                     | Sin datos disponibles   |
| n) Solubilidad en agua                                   | soluble   |
| o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua                 | log Pow: -0,549 a 23 °C   |
| p) Temperatura de auto-inflamación                       | 230 °C a 1.013 hPa  |
| q) Temperatura de descomposición                         | Sin datos disponibles   |
| r) Viscosidad  | Sin datos disponibles   |
| s) Propiedades explosivas                                | No explosivo  |
| t) Propiedades comburentes                               | Sin datos disponibles   |

**9.2 Otra información de seguridad**

- |                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| Constante de disociación    | 9,3 a 1.000 mg/l    |
| Densidad relativa del vapor | 3,08 - (Aire = 1.0) |



**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

Sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

Sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**

Sin datos disponibles

**Información Adicional**

RTECS: KK6125000

El producto causa severa destrucción de los tejidos de las membranas mucosas, el tracto respiratorio superior, los ojos y la piel., Tos, Insuficiencia respiratoria, Dolor de cabeza, Náusea

---

**SECCIÓN 12: Información ecológica**

**12.1 Toxicidad**

- Toxicidad para los peces CL50 - *Leuciscus idus* (Carpa dorada) - > 100 - 220 mg/l - 96 h
- Ensayo estático CL50 - *Leuciscus idus* (Carpa dorada) - 146,63 mg/l - 96 h (DIN 38412)
- Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos Ensayo estático CE50 - *Daphnia magna* (Pulga de mar grande) - 98,37 mg/l - 48 h (Directiva 67/548/CEE, Anexo V, C.2.)
- Toxicidad para las algas Ensayo estático CE50 - *Desmodesmus subspicatus* (Alga) - 66,08 mg/l - 72 h

**12.2 Persistencia y degradabilidad**

Biodegradabilidad aeróbico - Tiempo de exposición 14 d  
Resultado: 60,5 % - Fácilmente biodegradable.  
(OECD TG 301 C)

**12.3 Potencial de bioacumulación**

Sin datos disponibles

**12.4 Movilidad en el suelo**

Sin datos disponibles

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

**12.6 Otros efectos adversos**

Nocivo para los organismos acuáticos.

---

**SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación**

**13.1 Métodos para el tratamiento de residuos**

**Producto**

Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

---

**SECCIÓN 14: Información relativa al transporte**

**14.1 Número ONU**

ADR/RID: 2051

IMDG: 2051

IATA: 2051

**14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**

ADR/RID: 2-DIMETILAMINOETANOL



**N,N-DIMETILETILENDIAMINA (DMEN)****SIGMA-ALDRICH**[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)**FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 5.0 Fecha de revisión 17.09.2011

Fecha de impresión 08.01.2011

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA****1.1 Identificadores del producto**Nombre del producto : *N,N*-Dimetiletilendiamina

Referencia : D158003

Marca : Aldrich

No. Índice : 612-075-00-2

No. CAS : 108-00-9

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Apto. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

**1.4 Teléfono de emergencia**

Teléfono de Urgencia : 704100087

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla**

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]

Líquidos inflamables (Categoría 2)

Toxicidad aguda, Cutáneo (Categoría 4)

Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4)

Corrosión cutáneas (Categoría 1A)

Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE

Provoca quemaduras graves. Fácilmente inflamable. Nocivo en contacto con la piel y por ingestión.

**2.2 Elementos de la etiqueta**

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro

H225

Líquido y vapores muy inflamables.

H302

Nocivo en caso de ingestión.

H312

Nocivo en contacto con la piel.

H314

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Declaración(es) de prudencia

P210

Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. - No fumar.

P280

Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

P310 Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico.

Declaración Suplementaria del Peligro ninguno(a)

De acuerdo con la Directiva Europea 67/548/CEE, y sus enmiendas.

Símbolo(s) de peligrosidad



Frase(s) - R

R11 FÁCILMENTE INFLAMABLE.  
R21/22 NOCIVO EN CONTACTO CON LA PIEL Y POR INGESTIÓN.  
R35 PROVOKA QUEMADURAS GRAVES.

Frase(s) - S

S16 Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.  
S23 No respirar los gases/humos/vapores/aerosoles.  
S26 En caso de contacto con los ojos, lávese inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.  
S28 En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con jabón y agua.  
S36 ÚSESE INDEUMENTARIA PROTECTORA ADECUADA.  
S45 En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta).

### 2.3 Otros Peligros - ninguno(a)

## 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

### 3.1 Sustancias

Sinónimos : 2-(Dimethylamino)ethylamine

Formula : C<sub>4</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>

Peso molecular : 88,15 g/mol

Componente		Concentración
<b>2-Dimethylaminoethylamine</b>		
No. CAS	108-00-9	-
No. CE	203-541-2	
No. Índice	612-075-00-2	

## 4. PRIMEROS AUXILIOS

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial.

Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Eliminar lavando con jabón y mucha agua.

Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.

#### **Si es tragado**

No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

#### **4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

El producto causa severa destrucción de los tejidos de las membranas mucosas, el tracto respiratorio superior, los ojos y la piel., Tos, Insuficiencia respiratoria, Dolor de cabeza, Náusea, Vómitos

#### **4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**

sin datos disponibles

---

### **5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

#### **5.1 Medios de extinción**

##### **Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

#### **5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

#### **5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

#### **5.4 Otros datos**

El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

---

### **6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**

#### **6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

#### **6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

#### **6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillándolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección 13).

#### **6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

### **7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

#### **7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.

#### **7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

Sensible a la luz. Almacenar en atmósfera inerte.

#### **7.3 Usos específicos finales**

sin datos disponibles

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

### 8.1 Parámetros de control

#### **Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.**

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

### 8.2 Controles de la exposición

#### **Controles técnicos apropiados**

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### **Protección personal**

##### **Protección de los ojos/ la cara**

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro. Visera protectora (mínimo 20 cm). Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

##### **Protección de la piel**

Manipular con guantes. Los guantes deben ser controlados antes de la utilización. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

##### **Protección de inmersión**

Material: Goma fluorinada

espesura mínima de capa: 0,7 mm

Tiempo de perforación: > 480 min

Material probado: Vitoject® (Aldrich Z677698, Talla M)

##### **Protección contra salpicaduras**

Material: Caucho nitrilo

espesura mínima de capa: 0,4 mm

Tiempo de perforación: > 30 min

Material probado: Camatril® (Aldrich Z677442, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 873000, e-mail

sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación tiene carácter meramente consultivo y debe ser evaluado por un Higienista Industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

##### **Protección Corporal**

Traje de protección completo contra productos químicos, Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

##### **Protección respiratoria**

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinación multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingeniería. Si el respirador es la única protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los standards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

## 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a) Aspecto

Forma: claro, líquido

	Color: incoloro
b) Olor	sin datos disponibles
c) Umbral olfativo	sin datos disponibles
d) pH	sin datos disponibles
e) Punto de fusión/ punto de congelación	sin datos disponibles
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	104 - 106 °C - lit.
g) Punto de inflamación	11,7 °C - copa cerrada
h) Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	sin datos disponibles
k) Presión de vapor	sin datos disponibles
l) Densidad de vapor	sin datos disponibles
m) Densidad relativa	sin datos disponibles
n) Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
p) Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q) Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r) Viscosidad	sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	sin datos disponibles

### 9.2 Otra información de seguridad sin datos disponibles

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

### 10.1 Reactividad

sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

sin datos disponibles

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

sin datos disponibles

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

Calor, llamas y chispas. Temperaturas extremas y luz directa del sol.

### 10.5 Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes, Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

---

**11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA****11.1 Información sobre los efectos toxicológicos****Toxicidad aguda**

DL50 Oral - rata - 1.135 mg/kg

Observaciones: Conducta: Convulsiones o efectos en el umbral de colapso. Pulmones, torax o

Respiración: Disnea Diarrea

**Corrosión o irritación cutáneas**

sin datos disponibles

**Lesiones o irritación ocular graves**

sin datos disponibles

**Sensibilización respiratoria o cutánea**

sin datos disponibles

**Mutagenicidad en células germinales**

sin datos disponibles

**Carcinogenicidad**

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

**Toxicidad para la reproducción**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**

sin datos disponibles

**Efectos potenciales sobre la salud**

<b>Inhalación</b>	Puede ser nocivo si se inhala. El material es extremadamente destructivo para los tejidos de las membranas mucosas y las vías respiratorias superiores.
<b>Ingestión</b>	Nocivo por ingestión. Provoca quemaduras.
<b>Piel</b>	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Provoca quemaduras en la piel.
<b>Ojos</b>	Provoca quemaduras en los ojos.

**Signos y Síntomas de la Exposición**

El producto causa severa destrucción de los tejidos de las membranas mucosas, el tracto respiratorio superior, los ojos y la piel., Tos, Insuficiencia respiratoria, Dolor de cabeza, Náusea, Vómitos

**Información Adicional**

RTECS: KH8608250

---

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA****12.1 Toxicidad**

sin datos disponibles

**12.2 Persistencia y degradabilidad**

sin datos disponibles

**12.3 Potencial de bioacumulación**

sin datos disponibles

**12.4 Movilidad en el suelo**

sin datos disponibles

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**  
sin datos disponibles**12.6 Otros efectos adversos**  
sin datos disponibles**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACION****13.1 Métodos para el tratamiento de residuos****Producto**

Quemar en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador, procediendo con gran cuidado en la ignición ya que este producto es extremadamente inflamable. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE****14.1 Número ONU**

ADR/RID: 2734

IMDG: 2734

IATA: 2734

**14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**

ADR/RID: AMINAS LÍQUIDAS CORROSIVAS, INFLAMABLES, N.E.P. (2-Dimethylaminoethylamine)

IMDG: AMINES, LIQUID, CORROSIVE, FLAMMABLE, N.O.S. (2-Dimethylaminoethylamine)

IATA: Amines, liquid, corrosive, flammable, n.o.s. (2-Dimethylaminoethylamine)

**14.3 Clase(s) de peligro para el transporte**

ADR/RID: 8 (3)

IMDG: 8 (3)

IATA: 8 (3)

**14.4 Grupo embalaje**

ADR/RID: II

IMDG: II

IATA: II

**14.5 Peligros para el medio ambiente**

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

**14.6 Precauciones particulares para los usuarios**

sin datos disponibles

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

**15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

sin datos disponibles

**15.2 Evaluación de la seguridad química**

sin datos disponibles

**16. OTRA INFORMACIÓN****Otros datos**

Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

## ETANOLAMINA (MEA)

## SIGMA-ALDRICH

[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 453/2010

Versión 6.0 Fecha de revisión 16.07.2015

Fecha de impresión 30.11.2015

## SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

## 1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto	:	Etanolamina
Referencia	:	411000
Marca	:	Aldrich
No. Indice	:	603-030-00-8
REACH No.	:	Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS	:	141-43-5

## 1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconejados

Usos identificados	:	Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias
--------------------	---	---

## 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	:	Sigma-Aldrich Quimica, S.L. Ronda de Poniente, 3 Apto. Correos 278 E-28760 TRES CANTOS -MADRID
Teléfono	:	+34 91 6619977
Fax	:	+34 91 6619642
E-mail de contacto	:	eurtechserv@sial.com

## 1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia		704100087
----------------------	--	-----------

## SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

## 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

**Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4), H302

Toxicidad aguda, Inhalación (Categoría 4), H332

Toxicidad aguda, Cutáneo (Categoría 4), H312

Corrosión cutáneas (Categoría 1B), H314

Toxicidad acuática crónica (Categoría 3), H412

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3), Sistema respiratorio, H335

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

## 2.2 Elementos de la etiqueta

**Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008**

Pictograma



Palabra de advertencia

Peligro

## Indicación(es) de peligro

H302 + H312 + H332  
H314  
H335  
H412

Nocivo en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación  
Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.  
Puede irritar las vías respiratorias.  
Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

## Declaración(es) de prudencia

P261  
P273  
P301 + P312 + P330  
P303 + P361 + P353  
P304 + P340 + P310  
P305 + P351 + P338

Evitar respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol.  
Evitar su liberación al medio ambiente.  
EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico si se encuentra mal. Enjuagarse la boca.  
EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ ducharse.  
EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o a un médico.  
EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

Declaración Suplementaria del peligro  
ninguno(a)

## 2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

## SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

## 3.1 Sustancias

Sinónimos : Monoethanolamine  
2-Aminoethyl alcohol  
2-Aminoethanol

Formula : C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO

Peso molecular : 61,08 g/mol

No. CAS : 141-43-5

No. CE : 205-483-3

No. Índice : 603-030-00-8

## Ingredientes peligrosos de acuerdo con el Reglamento (CE) N° 1272/2008

Componente		Clasificación	Concentración
<b>Ethanolamine</b>			
No. CAS	141-43-5	Acute Tox. 4; Skin Corr. 1B; STOT SE 3; Aquatic Chronic 3; H302, H332, H312, H314, H335, H412 Límites de concentración: >= 5 %: STOT SE 3, H335;	<= 100 %
No. CE	205-483-3		
No. Índice	603-030-00-8		

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

## SECCIÓN 4: Primeros auxilios

## 4.1 Descripción de los primeros auxilios

**Recomendaciones generales**

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

**Si es inhalado**

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con la piel**

Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con los ojos**

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.

**Si es tragado**

No provocar el vómito Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

**4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

**4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**

Sin datos disponibles

---

**SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios****5.1 Medios de extinción****Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

**5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Óxidos de carbono, Óxidos de nitrógeno (NOx)

**5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

**5.4 Otros datos**

El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.

---

**SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental****6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras. Tener cuidado con los vapores que se acumulan formando así concentraciones explosivas. Los vapores pueden acumularse en las zonas inferiores.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

**6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

**6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillándolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección 13). Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

**6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

**SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento****7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina.

Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de descargas electrostáticas.

Ver precauciones en la sección 2.2

## 7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

higroscópico Manipular y almacenar en atmósfera inerte.

Clase alemán de almacenamiento (TRGS 510): Materiales corrosivos peligrosos, combustibles

## 7.3 Usos específicos finales

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

## SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

### 8.1 Parámetros de control

#### Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componente	No. CAS	Valor Forma de exposición	Parámetros de control	Base
Ethanolamine	141-43-5	VLA-EC	3 ppm 7,5 mg/m <sup>3</sup>	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional
Observaciones		Vía dérmica Agente químico para el que la U.E. estableció en su día un valor límite indicativo. Todos estos agentes químicos figuran al menos en una de las directivas de valores límite indicativos publicadas hasta ahora (ver Anexo C. Bibliografía). Los estados miembros disponen de un tiempo fijado en dichas directivas para su trasposición a los valores límites de cada país miembro. Una vez adoptados, estos valores tienen la misma validez que el resto de los valores adoptados por el país.		
		VLA-ED	1 ppm 2,5 mg/m <sup>3</sup>	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Tabla 1: Límites Ambientales de exposición profesional
		Vía dérmica Agente químico para el que la U.E. estableció en su día un valor límite indicativo. Todos estos agentes químicos figuran al menos en una de las directivas de valores límite indicativos publicadas hasta ahora (ver Anexo C. Bibliografía). Los estados miembros disponen de un tiempo fijado en dichas directivas para su trasposición a los valores límites de cada país miembro. Una vez adoptados, estos valores tienen la misma validez que el resto de los valores adoptados por el país.		
		TWA	1 ppm 2,5 mg/m <sup>3</sup>	Valores límite de exposición profesional indicativos
		Identifica la posibilidad de una absorción importante a través de la piel Indicativo		
		STEL	3 ppm 7,6 mg/m <sup>3</sup>	Valores límite de exposición profesional indicativos
		Identifica la posibilidad de una absorción importante a través de la piel Indicativo		

### 8.2 Controles de la exposición

#### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

## **Protección personal**

### **Protección de los ojos/ la cara**

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro. Visera protectora (mínimo 20 cm). Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

### **Protección de la piel**

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

#### **Sumerción**

Material: Caucho natural latex/cloropreno

espesura minima de capa: 0,6 mm

tiempo de penetración: 480 min

Material probado: Lapren® (KCL 706 / Aldrich Z677558, Talla M)

#### **Salpicaduras**

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0,2 mm

tiempo de penetración: 30 min

Material probado: Dermatril® P (KCL 743 / Aldrich Z677388, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

### **Protección Corporal**

Traje de protección completo contra productos químicos, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

### **Protección respiratoria**

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinacion multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesto para controles de ingenieneria. Si el respirador es la unica protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los standards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

### **Control de exposición ambiental**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

---

## **SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas**

### **9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

- |                    |  |
|--------------------|--|
| a) Aspecto         | Forma: líquido, claro<br>Color: incoloro |
| b) Olor            | similar a una amina                      |
| c) Umbral olfativo | Sin datos disponibles                    |
| d) pH              | 12,1 a 100 g/l a 20 °C                   |

e) Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: 10 - 11 °C - lit.
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	170 °C - lit. 69 - 70 °C a 13 hPa
g) Punto de inflamación	91 °C - copa cerrada
h) Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límites superior de explosividad: 17 %(V) Límites inferior de explosividad: 2,5 %(V)
k) Presión de vapor	0,3 hPa a 20 °C
l) Densidad de vapor	2,11 - (Aire = 1.0)
m) Densidad relativa	Sin datos disponibles
n) Solubilidad en agua	1.000 g/l a 20 °C - totalmente miscible
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: -2,299 a 25 °C
p) Temperatura de auto-inflamación	424 °C
q) Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r) Viscosidad	Sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

## 9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor 2,11 - (Aire = 1.0)

---

## SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

Absorbe CO<sub>2</sub> del aire.

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Sin datos disponibles

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

Exposición a la humedad.

Calor, llamas y chispas.

### 10.5 Materiales incompatibles

Ácidos fuertes y agentes oxidantes, Hierro, Cobre, Latón, Caucho

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles

En caso de incendio: véase sección 5

## SECCIÓN 11: Información toxicológica

### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

#### Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - machos y hembras - 1.089 mg/kg  
(Directrices de ensayo 401 del OECD)

Inhalación: El material es extremadamente destructivo para los tejidos de las membranas mucosas y las vías respiratorias superiores.

DL50 Cutáneo - Conejo - 1.015 mg/kg

#### Corrosión o irritación cutáneas

Piel - Conejo  
Resultado: Provoca quemaduras.  
(Directrices de ensayo 404 del OECD)

#### Lesiones o irritación ocular graves

Ojos - Conejo  
Resultado: Corrosivo  
(Directrices de ensayo 405 del OECD)

#### Sensibilización respiratoria o cutánea

Sin datos disponibles

#### Mutagenicidad en células germinales

Prueba de Ames  
Salmonella typhimurium  
Resultado: negativo  
Directrices de ensayo 474 del OECD  
Ratón - machos y hembras  
Resultado: negativo

#### Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

#### Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

#### Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Sin datos disponibles

#### Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

#### Peligro de aspiración

Sin datos disponibles

#### Información Adicional

RTECS: KJ5775000

quemazón, Tos, sibilancia, laringitis, Insuficiencia respiratoria, espasmo, inflamación y edema de la laringe, espasmo, inflamación y edema de los bronquios, neumonitis, edema pulmonar, El producto causa severa destrucción de los tejidos de las membranas mucosas, el tracto respiratorio superior, los ojos y la piel.

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

Hígado - Irregularidades - Con base en la evidencia humana

---

**SECCIÓN 12: Información ecológica****12.1 Toxicidad**

Toxicidad para los peces	Ensayo semiestático CL50 - Cyprinus carpio (Carpa) - 150 mg/l - 96 h
Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos	CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 65 mg/l - 48 h
Toxicidad para las algas	Ensayo estático CE50 - Selenastrum capricornutum (algas verdes) - 2,8 mg/l - 72 h (OECD TG 201)
Toxicidad para las bacterias	CE50 - Pseudomonas putida - 110 mg/l - 17 h (DIN 38 412 Part 8)

**12.2 Persistencia y degradabilidad**

Biodegradabilidad	aeróbico - Tiempo de exposición 28 d Resultado: > 70 % - Fácilmente biodegradable. (Directrices de ensayo 301F del OECD)
-------------------	--

**12.3 Potencial de bioacumulación**

Sin datos disponibles

**12.4 Movilidad en el suelo**

Sin datos disponibles

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

**12.6 Otros efectos adversos**

Tóxico para los organismos acuáticos.

---

**SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación****13.1 Métodos para el tratamiento de residuos****Producto**

Este producto combustible puede quemarse en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador. Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

---

**SECCIÓN 14: Información relativa al transporte****14.1 Número ONU**

ADR/RID: 2491

IMDG: 2491

IATA: 2491

**14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**

ADR/RID: ETANOLAMINA

IMDG: ETHANOLAMINE

IATA: Ethanolamine

**14.3 Clase(s) de peligro para el transporte**

ADR/RID: 8

IMDG: 8

IATA: 8

**14.4 Grupo de embalaje**

ADR/RID: III

IMDG: III

IATA: III

**14.5 Peligros para el medio ambiente**

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

#### 14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

---

#### SECCIÓN 15: Información reglamentaria

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamentación (CE) No. 453/2010.

##### 15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

##### 15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

---

#### SECCIÓN 16: Otra información

##### Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H302	Nocivo en caso de ingestión.
H302 + H312 + H332	Nocivo en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación
H312	Nocivo en contacto con la piel.
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H332	Nocivo en caso de inhalación.
H335	Puede irritar las vías respiratorias.
H412	Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

##### Otros datos

Copyright 2015 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

