



**UNIVERSITAT JAUME I**

**Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals**

**Grau en Enginyeria Química**

***Diseño de un sistema de desulfuración  
de biogás con dietanolamina para su  
valorización energética en una EDAR***

**Trabajo Fin de Grado**

Autor/a

Sergio Almendros Pastor

Tutor/a

Enrique Javier Sánchez Vilches

**Castellón, Julio de 2018**



# 0. RESUMEN

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

El presente proyecto analizará las posibilidades técnico-económicas de un sistema de desulfuración de biogás basado en una columna de absorción con dietanolamina.

El hecho de que la actual opción de valorización usada en la EDAR de Castellón de la Plana, basada en un motor de combustión interna de ciclo Otto, suponga un sistema poco eficiente y ambientalmente contaminante, genera un interés en estudiar la posibilidad de un nuevo sistema de valorización energética basado en una pila de combustible.

Un sistema de pila de combustible supondría una mejora en contaminación acústica y atmosférica, además de una mejora del rendimiento del proceso. Por esa razón, surge la necesidad de diseñar un nuevo sistema de desulfuración que mejore los niveles del sistema actual, y que permita tener un biogás ya acondicionado para valorizarse energéticamente en una pila de combustible.

De esta manera, en este proyecto se aborda el análisis, selección y diseño de los equipos necesarios para el proceso de desulfuración, así como de las conducciones y equipos de impulsión necesarios para interconectarlos entre si. Este análisis y selección de los equipos se realiza en todo momento buscando siempre un triple compromiso entre eficiencia técnica, economía y contaminación ambiental.

El proyecto se ha redactado siguiendo las normas de calidad habituales para la redacción de proyectos técnicos e incluirá además del análisis y diseño de equipos de proceso, un presupuesto completo incluyendo todas las partidas presupuestarias necesarias para definir el coste de puesta en marcha. En base a ese presupuesto se analizará la viabilidad económica del proyecto, valorando posteriormente además las posibilidades de obtención de ingresos ante la instalación de la pila de combustible en la EDAR.

# 1. ÍNDICE GENERAL

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

0. RESUMEN

1. ÍNDICE GENERAL

2. MEMORIA

3. ANEXOS

4. PLANOS

5. PLIEGO DE CONDICIONES

6. ESTADO DE MEDICIONES

7. PRESUPUESTO

## 2. MEMORIA

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## INDICE DE LA MEMORIA

<b>0. OBJETIVO .....</b>	<b>5</b>
<b>1. ALCANCE .....</b>	<b>6</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 BIOGÁS .....</b>	<b>7</b>
2.1.1. BIOQUÍMICA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN Y CARACTERÍSTICAS .....	7
2.1.2. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS EN BASE A LODOS DE EDAR .....	10
<b>2.2 DESULFURACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL BIOGÁS: .....</b>	<b>11</b>
2.2.1. TIPOS DE DESULFURACIÓN .....	11
2.2.2. DESULFURACIÓN DEL BIOGÁS EN COLUMNA DE ABSORCIÓN HÚMEDA .....	13
<b>2.3 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DEL BIOGÁS .....</b>	<b>13</b>
2.3.1. INTRODUCCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CAMPO EN ESTUDIO .....	13
2.3.2. PILAS DE COMBUSTIBLE. CLASIFICACIÓN. ....	14
<b>3. NORMAS Y REFERENCIAS.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 NORMAS APLICADAS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 SOFTWARE EMPLEADO .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD.....</b>	<b>21</b>
<b>4. DEFINICIONES Y NOTACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 DEFINICIONES BÁSICAS .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 NOTACIÓN Y ACRÓNIMOS UTILIZADOS .....</b>	<b>23</b>
4.2.1 ACRÓNIMOS .....	23
4.2.2 NOTACIÓN UTILIZADA .....	24
<b>5. REQUISITOS DE DISEÑO .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA CORRIENTE A TRATAR.....</b>	<b>26</b>
<b>5.2 ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO.....</b>	<b>27</b>
<b>5.3 EMPLAZAMIENTO .....</b>	<b>28</b>
<b>6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>6.1 ANÁLISIS DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN .....</b>	<b>30</b>
6.1.1. INTRODUCCIÓN. EL PROCESO DE ABSORCIÓN .....	30
6.1.1.1 Teoría de la doble película de Whitman .....	31
6.1.1.2 Densidad de flujo de materia.....	32
6.1.2. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....	33
6.1.3. COLUMNAS DE RELLENO .....	34
6.1.4. SELECCIÓN DEL RELLENO .....	36
6.1.5. SELECCIÓN DEL SOLVENTE.....	39
6.1.5 DISEÑO DE LA COLUMNA .....	42
6.1.5.1. Diámetro de la columna.....	43
6.1.5.2. Altura de relleno de la columna .....	44
6.1.5.2.1. Coeficiente de transferencia de materia $k_G$ .....	45
6.1.5.2.2. NUT y HTU. Altura de relleno. ....	45
6.1.5.3. Variables del diseño mecánico de la columna .....	48
6.1.6 RESULTADO FINAL DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN.....	54
<b>6.2 ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR .....</b>	<b>56</b>
6.2.1 INTRODUCCIÓN .....	56
6.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	57
6.2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBO.....	60
6.2.3.1 Tipo de recuperador .....	61

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

6.2.3.2	Normas para el diseño del recuperador.....	61
6.2.4	RESULTADOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	63
6.2.5	INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPLEMENTARIO .....	66
6.2.6	SIMULACIÓN POR SOFTWARE DE LOS INTERCAMBIADORES .....	67
<b>6.3</b>	<b>ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REGENERACIÓN DE LA AMINA .....</b>	<b>71</b>
<b>6.4</b>	<b>ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TUBERIAS.....</b>	<b>74</b>
6.4.1	ANÁLISIS INDIVIDUAL DE LOS TRAMOS .....	74
6.4.2	RESULTADO FINAL DE LAS CONDUCCIONES .....	79
6.4.3	EQUIPOS DE IMPULSIÓN .....	81
<b>7.</b>	<b>PLANIFICACIÓN .....</b>	<b>88</b>
<b>8.</b>	<b>ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS.....</b>	<b>91</b>
<b>9.</b>	<b>ESTUDIO ECONOMICO Y VIABILIDAD .....</b>	<b>92</b>
9.1	RESUMEN DEL PRESUPUESTO .....	92
9.2	PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN.....	93
9.2.1	GASTOS DIRECTOS .....	93
9.2.2	AMORTIZACIONES .....	94
9.2.3	GASTOS INDIRECTOS .....	94
9.2.4	GASTOS TOTALES.....	96
9.3	BENEFICIO.....	96
9.4	FLUJO DE CAJA (FC) .....	100
9.5	VAN, TIR Y PR.....	101
9.6	CONCLUSIÓN FINAL.....	104

## 0. OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto es el análisis técnico-económico de un nuevo sistema de desulfuración de biogás en la EDAR de Castellón de la Plana por medio de una solución acuosa de dietanolamina. El planteamiento de este sistema surge motivado por la posible implantación futura de una pila de combustible para la valorización del biogás, en sustitución del actual sistema integrado por un motor de combustión interna.

Se pretende diseñar todo el conjunto de equipos que participen en el proceso de extracción del ácido sulfhídrico del biogás, así como del sistema de tuberías del sistema y de los equipos de impulsión y bombas necesarias. El actual sistema de desulfuración no alcanza los niveles deseados de desulfuración para el uso de pilas de combustible. Así que se planteará un método de absorción normalmente reservado a procesos petroquímicos (endulzamiento del gas natural), la absorción con aminas, más concretamente en este caso, con dietanolamina.

Además, se pretende proyectar un presupuesto de toda la operación presentada en el proyecto, para valorar la viabilidad económica de este y poder así valorar en conjunto las ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales del nuevo sistema proyectado y de lo existente actualmente.

## 1. ALCANCE

En el proyecto *“Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR”* se diseñarán todos los elementos necesarios para la desulfuración del biogás de la EDAR de Castellón de la Plana y poder así estudiar la posible futura implantación de un nuevo sistema de valorización energética con pilas de combustible. Todo el proyecto estará referido a la viabilidad de la puesta en marcha de este sistema en la EDAR de Castellón de la Plana, centrándose así en buscar la opción más viable económicamente, que satisfaga al mismo tiempo un compromiso entre el coste de mantenimiento, el rendimiento de operación y una buena opción medioambiental.

De este modo, se definirá un proceso que irá desde el punto de extracción del biogás del digestor, hasta el punto de introducción del biogás a una pila de combustible:

Así, este proceso incluirá:

1. Un bombeo para extraer el biogás desde su punto de almacenaje y llevarlo a la zona de pretratamiento.
2. Un proceso de absorción del  $H_2S$  en una columna de relleno con una disolución acuosa de dietanolamina.
3. Un intercambiador de calor amina-amina para calentar la corriente de amina rica antes de su regeneración y enfriar la corriente de amina pobre antes de entrar al absorbedor.
4. El diseño de toda la red de tuberías necesario en todas las fases del proceso.
5. La búsqueda de un modelo comercial de pila de combustible apta para el proceso en estudio.

Así mismo, se realizará un estudio de viabilidad económica para analizar la rentabilidad del proyecto.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 BIOGÁS

#### 2.1.1. BIOQUÍMICA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El biogás es un gas combustible generado a partir de biomasa, generado siempre en condiciones anaeróbicas (en ausencia de oxígeno). Se genera normalmente en base a residuos orgánicos procedentes de industria animal, agricultura, depuración de aguas...

El proceso de obtención se divide en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanización.

- Hidrólisis: En esta fase, las estructuras complejas del sustrato orgánico (grasas, carbohidratos y proteínas) se descomponen en sustancias orgánicas más sencillas (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos). Las bacterias anaeróbicas que se encargan de este proceso son las bacterias hidrolíticas.

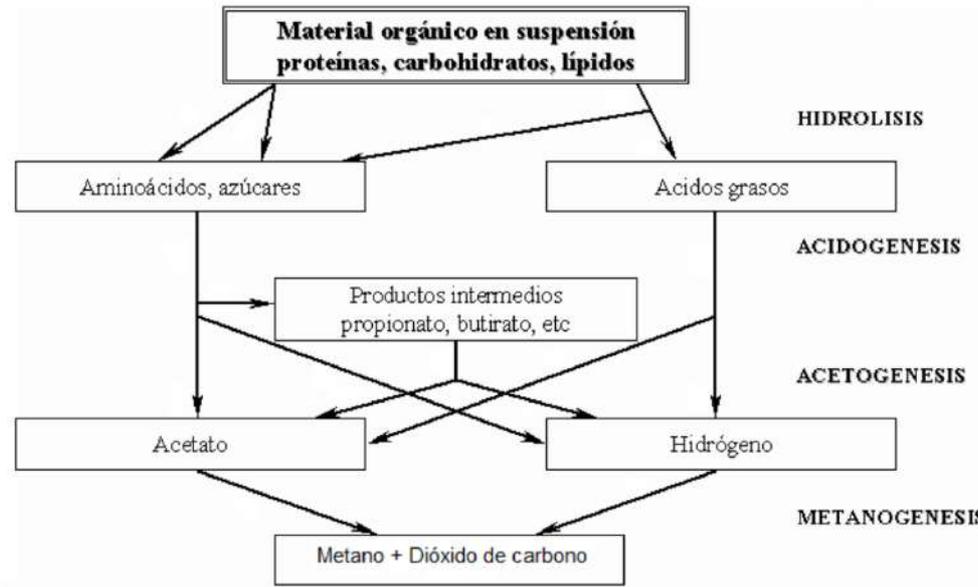
- Acidogénesis: Los productos intermedios obtenidos en la fase de hidrólisis son aprovechados por bacterias fermentativas, y se convierten a ácidos grasos inferiores (ácido acético, propiónico o butérico), produciendo además dióxido de carbono, hidrógeno y pequeñas cantidades de ácido láctico y alcoholes.

- Acetogénesis: Los ácidos grasos inferiores generados en la fase anterior, son convertidos por bacterias acetogénicas a ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

-Metanización: El ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono se convierten por bacterias anaeróbicas a metano. Alrededor del 70% del metano se produce a partir del ácido acético generado en la acetogénesis.

En la **figura M2.1** se muestra un esquema de los pasos que siguen las moléculas complejas durante la digestión anaerobia.

**Figura M2.1 Etapas de la digestión anaerobia.**



De esta forma, se obtiene un gas combustible rico en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que contiene también pequeñas cantidades de otros gases tales como nitrógeno, sulfuro de hidrógeno u oxígeno.

Como refleja la **tabla M2.1**, la composición del biogás dependerá del origen de la biomasa. Las fuentes más habituales de biomasa para la producción de biogás son los desechos agrícolas y los lodos de depuradora.

Además, es importante remarcar que el biogás presenta una serie de características que hacen necesario un uso responsable de este:

- Combustibilidad: Riesgo de incendio y explosión mezclado con aire en proporciones del 7-15%.

- Toxicidad: Riesgo de asfixia por metano y dióxido de carbono en espacios cerrados.

- Contaminación: Contribuye al efecto invernadero en un nivel 21 veces superior al  $\text{CO}_2$ .

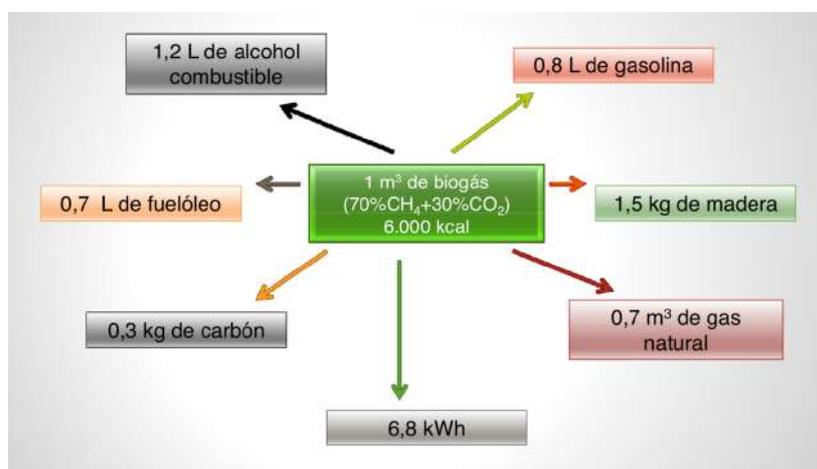
**Tabla M2.1 Composición del biogás en función del origen de la biomasa**

Gases	Desechos agrícolas	Lodos EDAR	Desechos industriales	Rellenos sanitarios
CH <sub>4</sub>	50-80 %	50-80 %	50-70 %	45-65 %
CO <sub>2</sub>	30-50 %	20-50 %	30-50 %	34-55 %
Vapor agua	Saturación	Saturación	Saturación	Saturación
H <sub>2</sub>	0-2 %	0-5 %	0-2 %	0-1 %
H <sub>2</sub> S	100-7000 ppm	0-1 %	0-8 %	0,5-100 ppm
CO	0-1 %	0-1 %	0-1 %	Trazas
N <sub>2</sub>	0-1 %	0-3 %	0-1 %	0-20 %
O <sub>2</sub>	0-1 %	0-1 %	0-1 %	0-5 %
Orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5-500 ppm

Debido a su propiedad combustible y su alto valor energético, tiene diversas aplicaciones que lo revalorizan energéticamente.

Como se muestra en la **figura M2.2**, el biogás supone una fuente de energía importante comparado con otros combustibles, aunque debido a su relativa impureza, siempre un poco inferior a estos.

**Figura M2.2 Equivalencias energéticas del biogás.**



### 2.1.2. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS EN BASE A LODOS DE EDAR

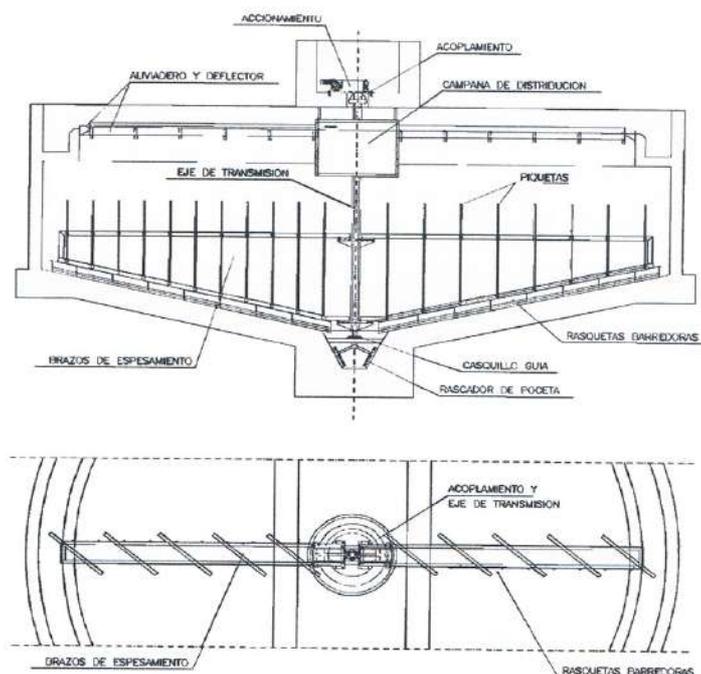
Los fangos se obtienen en las EDAR directamente de la línea de aguas. Están formados por todos los desechos biológicos generados durante los procesos de decantación del agua a depurar, y constituye una biomasa con un alto valor biológico y energético si se aprovecha adecuadamente.

La obtención de biogás en base a lodos de EDAR es un proceso sencillo, en el que básicamente se someten los fangos a una digestión anaerobia (condiciones anóxicas) para someter a las moléculas complejas a una degradación biológica, produciendo así generación de biogás.

Las fases que engloban el proceso completo son:

-Un primer espesamiento por gravedad de los fangos, que reducen la cantidad de agua que estos contienen, reduciendo así el volumen necesario en los reactores de los procesos posteriores, reduciendo costes. En la **figura M2.3** se muestra un plano general de un espesador de fangos por gravedad (EFG).

**Figura M2.3** Plano general de un espesador de fangos por gravedad (EFG).

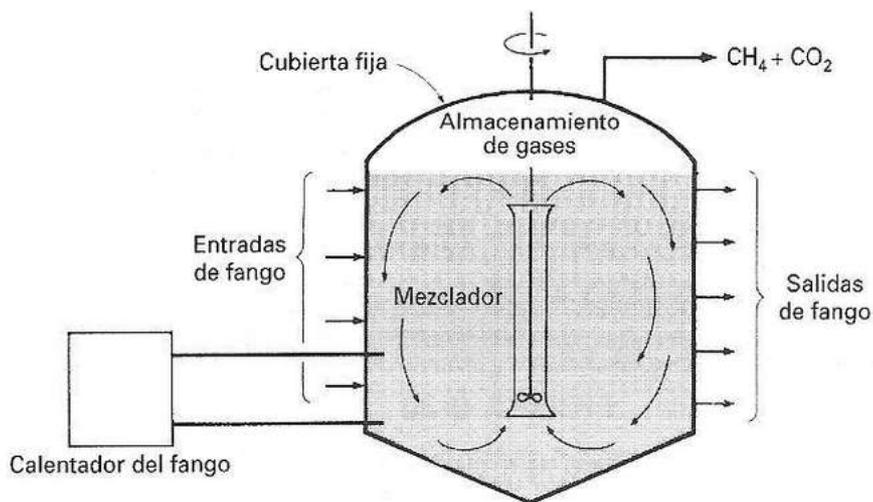


## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

-Varios pasos de bombeo y conducciones varias para transportar el fango desde los espesadores hasta el digestor anaerobio.

-Digestión anaerobia con calentamiento de los fangos en un reactor (normalmente con agitación, **figura M2.4**). En esta fase es importante controlar las condiciones de temperatura y pH para evitar una mala degradación de las bacterias o incluso una inhibición de esta.

**Figura M2.4 Esquema básico de un digestor anaerobio de digestión de fangos.**



-Posteriormente al digestor, se extrae el fango y se lleva a otras fases de deshidratación para su valorización posterior como fertilizante agrícola, y el biogás es tratado y revalorizado energéticamente.

## 2.2 DESULFURACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL BIOGÁS:

### 2.2.1. TIPOS DE DESULFURACIÓN

La desulfuración del biogás puede desglosarse en cuatro grandes grupos:

- Absorción empleando compuestos orgánicos e inorgánicos: Bien mediante una absorción, seleccionando un solvente que optimice la absorción del soluto contenido en el biogás, y con un diseño adecuado de un equipo que

los ponga en contacto (columnas de relleno, columnas de pisos, columnas de aspersion...) se produce la transferencia de materia de un compuesto al otro. Es un método muy recomendado para la absorción de H<sub>2</sub>S por la extremada reactividad de este contaminante con la mayoría de metales y la alta eficiencia que pueden lograr estos equipos si se diseñan adecuadamente. Además, existen métodos de desulfuración basados en el uso de limaduras de hierro o de cloruro férrico, que aunque resultan más económicos, obtienen tasas de extracción menores.

- Métodos biotecnológicos: La tendencia en los últimos años en el campo de la depuración esta derivando en métodos biotecnológicos que hacen uso de microorganismos para eliminar el azufre y otros compuestos, convirtiéndolos a elementos elementales de eliminación más sencilla. Así, equipos como los *bioscrubbers* y los biofiltros van teniendo un uso creciente en los últimos años, aunque es importante remarcar que son equipos pensados para tratar grandes caudales de biogás, y que suponen una inversión inicial elevada, además de un buen estudio del microorganismo a usar dependiendo del compuesto a depurar.
- Adsorción por métodos físicos: Los métodos de adsorción se basan en la capacidad de ciertos sólidos a retener en su superficie ciertas sustancias de una solución. También son llamados procesos de lecho seco, y como adsorbente se utilizan principalmente silicagel, carbón activo, alúminas y tamices moleculares. Una de las desventajas de estos sistemas es la necesidad de regenerar el lecho de adsorbente cada cierto tiempo para evitar la perdida de eficacia, además de que la extracción por adsorción no es recomendable para concentraciones medianamente altas de contaminantes.
- Método de separación por membranas: Basado en la capacidad de difusión de algunos compuestos a través de una membrana porosa selectiva que produce una separación en la mezcla a tratar. Es un método caro y recomendado para operaciones a pequeña escala.

## 2.2.2. DESULFURACIÓN DEL BIOGÁS EN COLUMNA DE ABSORCIÓN HÚMEDA

El método de desulfuración a estudiar y diseñar en este proyecto va a ser la extracción en columna húmeda, usando como solvente una amina que se regenerará posteriormente en una columna de platos.

El diseño de la columna comprenderá su ingeniería básica, es decir, el cálculo de la altura de relleno, la altura de torre, una selección cualitativa del relleno a utilizar, una selección de los materiales de su construcción y la selección o diseño de los posibles equipos auxiliares que compondrán el conjunto de desulfuración y acondicionamiento del biogás.

## 2.3 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DEL BIOGÁS

### 2.3.1. INTRODUCCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CAMPO EN ESTUDIO

El biogás es un subproducto obtenido de residuos el cual tiene valor económico si se valoriza de alguna forma.

Las formas mas habituales de valorizar el biogás son:

- Uso como combustible en motores de ciclo Otto para generación eléctrica.
- Obtención de hidrógeno mediante el reformado del biogás.
- Obtención de biocombustibles aumentando el porcentaje de metano en este.
- Uso como combustible a pilas de combustible para generación eléctrica.
- Además, existen nuevas líneas de investigación que proponen usar el biogás como catalizador en procesos de obtención de biopolímeros.

Actualmente en la instalación de estudio de este proyecto (EDAR Castellón de la Plana) la valorización del biogás generado se hace generando energía eléctrica en un motor de ciclo Otto. Este sistema tiene las ventajas de ser un sistema de bajo coste económico y

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

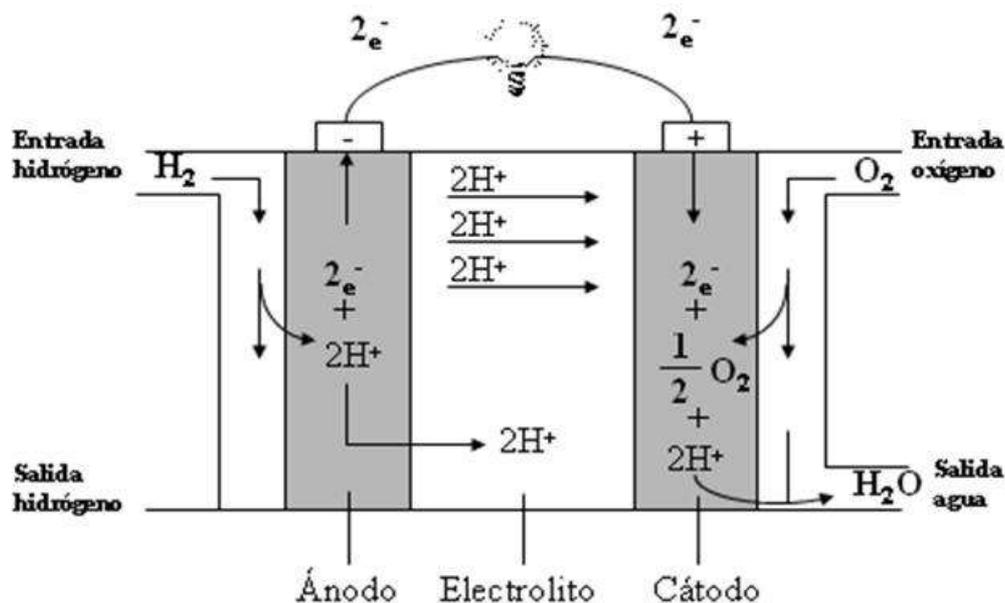
unos gastos de operación y mantenimiento reducidos. Por el contrario, es un sistema que genera gases de efecto invernadero y que obtiene un rendimiento bajo de operación.

En este proyecto se va a estudiar la posibilidad de instalar un sistema de valorización del biogás basado en pilas de combustible, mediante el montaje de un *stack* de pilas que sustituyan al motor de combustión, aportando un sistema menos ruidoso, sin emisiones contaminantes y con rendimientos de operación mayores, pero que por el contrario es un sistema que requiere una alta inversión inicial por ser una tecnología incipiente con todavía poca implantación comercial e industrial.

### 2.3.2. PILAS DE COMBUSTIBLE. CLASIFICACIÓN.

Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico en el que un flujo continuo de combustible y de oxidante producen una reacción electroquímica que proporciona energía eléctrica continua a un circuito externo. Se diferencia de una batería en que esta diseñada para funcionar de forma continua, y no como almacén de energía eléctrica. En la **figura M2.5** se muestra el esquema básico de una pila de combustible.

**Figura M2.5** Esquema de funcionamiento de una pila de combustible.



Las pilas de combustible están compuestas por dos electrodos, uno negativo (ánodo) y uno positivo (cátodo), intercalados por un electrolito. Se alimenta combustible rico en

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

hidrógeno de forma continua al ánodo, y aire al cátodo, que aporta el oxígeno necesario para actuar como oxidante en la reacción.

Activado por un catalizador, el hidrógeno se separa en protones y electrones. Los electrones atraviesan un circuito externo, lo que crea un flujo de electricidad continuo (DC). Los protones migran a través del electrolito hasta el cátodo, donde se encuentran con el oxígeno y los electrones, produciendo agua y calor. La mayoría de *stacks* comerciales de pilas de combustible implementan un sistema de transformación para convertir la energía eléctrica continua generada en energía eléctrica alterna de calidad (AC).

Aunque el principio de funcionamiento de todas las pilas de combustible es el mismo, dependiendo del electrolito empleado y del tipo de combustible que se utilice existen varios tipos:

- Pilas de membrana de intercambio protónico (PEM: *Polymer electrolyt membrane*): Usan como electrolito en su estructura un polímero de membrana. Se engloban dentro de las pilas que operan a baja temperatura y tienen una gran capacidad de variación de la producción. Por el contrario, necesitan un combustible de entrada muy puro en hidrógeno y completamente libre de impurezas. Son las más utilizadas en los vehículos de hidrógeno.
- Pilas de metanol directo (DMFC: *Direct metanol fuel cells*): Comparten estructura y electrolito con las PEM, con la diferencia de que el combustible es metanol puro en lugar de hidrógeno. Elimina la necesidad del reformado, pero por el contrario son menos versátiles en cuanto a fluctuaciones en la producción y obtienen rendimientos de producción menores. Su uso está recomendado para pequeños aparatos electrónicos como ordenadores y electrodomésticos.
- Pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC: *Phosphoric acid fuel cell*): Usan como electrolito ácido fosfórico en estado líquido saturado en una matriz de SiC (carburo de silicio), fueron las primeras pilas de combustible

en comercializarse. Operan a T medias, lo que provoca que parte del agua generada se convierta en vapor que puede utilizarse en un sistema de cogeneración. Toleran el CO<sub>2</sub> y pequeñas concentraciones de CO, lo que aumenta el abanico de combustibles que tolera la pila. Sus desventajas mas significativas es que si operan en un rango de temperatura medianamente bajo el CO se convierte en un fuerte veneno para el catalizador de platino y la poca densidad de energía que son capaces de ofrecer.

- Pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC: *Molten carbonate fuel cell*): El electrolito consiste en una sal de carbonato fundido retenida en una matriz porosa. Operan a altas temperaturas ( $\approx 600^{\circ}\text{C}$ ), lo que les permite reformar internamente combustibles como el gas natural o el biogás. Son utilizadas en instalaciones de producción de energía medianas o de gran tamaño por su alta eficiencia.
- Pilas de combustible de óxido sólido (SOFC: *Solid oxide fuel cell*): El electrolito consiste en una fina capa cerámica. Operan a temperaturas que pueden alcanzar los  $1000^{\circ}\text{C}$  si el electrolito usado es de óxido de circonio. Al igual que las MCFC pueden reformar internamente los combustibles y con un sistema de cogeneración pueden alcanzar eficiencias del 75%.

La selección de la pila de combustible tendrá que basarse en las siguientes consideraciones:

- Uso que se le va dar (instalación objetivo).
- Combustible del que se dispone, o facilidad relativa de obtener uno u otro.
- Presupuesto y rentabilidad: Las pilas de combustible no son una tecnología nueva, pero comercialmente es una tecnología aun poco implantada, por lo que el coste es relativamente alto. Hay que valorar que el coste de la pila va a amortizarse en un determinado plazo de tiempo, tanto por la energía que genera, como por las posibilidades de cogeneración que da con el calor que

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

emite. Y en caso de no ser una tecnología que día de hoy sea fácilmente amortizable, valorar si la mejora en ruido, contaminación ambiental y eficiencia es un valor extra para la planta.

### 3. NORMAS Y REFERENCIAS

#### 3.1 NORMAS APLICADAS

- ASME/ASTM (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). Capitulo VIII – División 1: “*Diseño, construcción e inspección de tanques y recipientes a presión*”.
- RAP (Recipientes de aparatos a presión) aprobado por Real Decreto 1244/1979. Capitulo V: “*Inspecciones y pruebas*”. Art: 12-20.
- LEY 6/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Prevención, Calidad y Control Ambiental de Actividades en la Comunitat Valenciana. Modificada por:
  - LEY 7/2014, de 22 de diciembre, de Medidas Fiscales, de Gestión Administrativa y Financiera, y de Organización de la Generalitat.
  - LEY 10/2015, de 29 de diciembre, de medidas fiscales, de gestión administrativa y financiera, y de organización de la Generalitat.
  
- Norma UNE 157001-2014: “*Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un documento técnico*”.
- Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial.
- Real Decreto 411/1997, de 21 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial.
- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- UNE-EN ISO 5455 - Dibujos técnicos. Escalas. (ISO 5455: /979)
- UNE-EN ISO 3098-0 - Documentación técnica de productos. Escritura.

### 3.2 BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- [1] RODRIGUEZ JENNY ALEXANDRA, “Tratamiento anaerobio de aguas residuales”.Ing. Sanitaria Msc. Profesora Asociada de la Universidad el Valle. Cali, Colombia.
- [2] “Conceptos básicos del biogás y sus tecnologías para la limpieza y acondicionamiento en la EDAR”. En línea: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/conceptos-basicos-del-biogas-y-sus-tecnologias-para-la-limpieza-y-acondicionamiento-en-la-edar>
- [3] GARCÍA HERRUZO, “Conferencia sobre el aprovechamiento del biogás en vertederos controlados”. Universidad de Málaga.
- [4] ORTEGA VIERA LIANYS, RODRIGUEZ MUÑOZ SUSANA, FERNÁNDEZ SANTANA ELINA. “Principales métodos para la desulfuración del biogás”. 2015.
- [5] “Tipos de pilas de combustible”. En línea: <http://www.energiasrenovablesinfo.com/hidrogeno/pilas-combustibles-tipos/>
- [6] “Purificación de gases de proceso”. En línea: <http://www.silica.berlin/es/purificación-de-gases-de-proceso.html>
- [7] “Sistema de cogeneración basado en un sistema de pila de combustible de carbonatos fundidos para abastecer las necesidades de edificios y distritos”. En línea: <https://www.construible.es/comunicaciones/sistema-cogeneracion-basado-sistema-pila-combustible-carbonatos-fundidos-para-abastecer-necesidades-edificios-distritos>
- [8] MORENO ANGELO, MCPHAIL STEPHEN, BOVE ROBERTO. “International Status of Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC) Technology”. Enero 2008.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

[9] “Fenómenos de transporte” . En línea:

[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3\\_anio/fenomenos\\_transporte/Unidad\\_tematica\\_9.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_anio/fenomenos_transporte/Unidad_tematica_9.pdf)

[10] ROJAS VARGAS, AMANCIO. “Diseño y evaluación hidrodinámica de una mini columna empacada” En línea: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v32n3/rtq04312.pdf>

[11] RODRIGO CARBONELL, M<sup>a</sup>DOLORES. “Operaciones básicas de flujo de fluidos”. Publicaciones de la Universitat Jaume I N°158.

[12] Apuntes académicos asignatura EQ1019: Mecánica de fluidos. Grado en Ingeniería Química por la Universitat Jaume I.

[13] BARBA JUAN, ANTONIO. “Operaciones básicas de transmisión de calor”. Publicaciones de la Universitat Jaume I N°155.

[14] Apuntes académicos asignatura EQ1020: “Operaciones básicas de transmisión de calor”. Grado en Ingeniería Química por la Universitat Jaume I.

[15] SINNOTT, RAY. TOWLER, GAVIN. “Diseño en Ingeniería Química”. Editorial Reverté. 5<sup>a</sup> Edición. 2012.

[16] Apuntes académicos asignatura EQ1035: “Simulación y optimización de procesos”. Grado en Ingeniería Química por la Universitat Jaume I.

[17] Apuntes académicos asignatura EQ1043: “Tecnología del petróleo y petroquímica”. Grado en Ingeniería Química por la Universitat Jaume I.

[18] Apuntes académicos asignatura EQ1027: “Tecnología del Medio Ambiente”. Grado en Ingeniería Química por la Universitat Jaume I.

[19] Apuntes académicos asignatura EQ1028: “Operaciones de separación II”. Grado en Ingeniería Química por la Universitat Jaume I.

[20] Apuntes académicos asignatura EQ1031: “Proyectos en ingeniería”. Grado en Ingeniería Química por la Universitat Jaume I.

### 3.3 SOFTWARE EMPLEADO

En la redacción de este proyecto técnico se ha hecho uso de software informático diverso, que se detalla a continuación:

Tratamiento de texto:

- Microsoft Word 2017

Tratamiento de datos:

- Microsoft Excel 2017

Planos y esquemas de instalación normalizados:

- AutoCAD 2018

Simulación informática en estado estacionario:

- ProSim Plus 3

Lectura y tratamiento de información bibliográfica:

- Adobe Reader PDF

Presupuesto, partidas y pliego de condiciones:

- CYPE

Planificación del proyecto:

- Microsoft Project 2016

### 3.4 PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

El proyecto constituye el mejor vehículo posible para la definición y exigencia de los niveles de calidad exigidos en la obra. Es decir, un aumento en la calidad de redacción de este proyecto aumentará de manera directa la calidad obtenida en la obra.

Para conseguir estos niveles de calidad, habrá que evitar por todos los medios posibles la ambigüedad en la redacción e intentar conseguir un nivel de detalle y definición alto que permita una interpretación adecuada de las condiciones aquí expuestas por

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

cualquier intérprete. Los diferentes documentos básicos que conforman este proyecto deberán cumplir un mínimo de calidad exigible:

- Memoria: Es el documento que de alguna manera conecta a todas las demás partes del proyecto, por eso en este documento básico más que en ningún otro es importante la claridad y el detalle en la expresión. Se redactará con una terminología clara y precisa, y en caso de no ser posible por la complejidad del tema tratado, se referenciará o apoyará en figuras o tablas explicativas.
- Pliego de condiciones: A nivel de la puesta en marcha del proyecto, este documento exigirá un gran detalle de explicación del montaje de la instalación en estudio, ya que especifica las condiciones técnico-facultativas para la ejecución de las obras. Se deberá poner especial cuidado en la redacción de las condiciones técnicas.
- Planos: Los planos deberán describir con sentido físico real las partes o equipos que en ellos se representen. Deberán utilizarse el número de vistas necesarias de cada equipo o conjunto para que su comprensión y entendimiento sea adecuado y suficiente.
- Presupuesto: Contempla el estado de mediciones, precios, presupuestos de obra y el estudio económico. Deberán de realizarse los cálculos con exactitud, y en caso de no disponer de datos concretos, utilizar valoraciones conservadoras para analizar la rentabilidad del proyecto.

Además, todas las figuras o tablas presentes en el proyecto que no son de elaboración propia del proyectista, están adecuadamente referenciadas bibliográficamente en el apartado 3.2 de esta memoria.

## 4. DEFINICIONES Y NOTACIÓN

### 4.1 DEFINICIONES BÁSICAS

- Desulfuración: Proceso de eliminación de compuestos con azufre. La desulfuración es en muchos casos necesaria u obligatoria por la alta contaminación o peligrosidad de algunos compuestos sulfurosos.
- Sistema de valorización energética: Forma de revalorizar energéticamente algún tipo de materia, bien sea mediante generación de energía eléctrica, calorífica o de movimiento.
- Arrastre (“*Entrainment*”): Fenómeno producido en columnas de absorción o desorción donde dos fluidos, uno líquido y uno gaseoso, están en contacto directo. La alta velocidad del gas en el ascenso puede provocar pequeños arrastres de gotas del líquido a la parte superior. Este efecto se elimina generalmente con un eliminador de niebla y/o un condensador parcial con recirculación a la salida superior de la columna.
- Condiciones anóxicas: Condiciones en ausencia de oxígeno.
- Absorción química: Proceso de absorción que ocurre mediante una reacción química del soluto en el solvente. Suele tener una cinética rápida que lleva muchas veces a considerarlas como instantáneas.

### 4.2 NOTACIÓN Y ACRÓNIMOS UTILIZADOS

#### 4.2.1 ACRÓNIMOS

- EDAR: Estación depuradora de aguas residuales.
- DEA: Dietanolamina.
- MEA: Monoetanolamina.
- MDEA: Metildietanolamina.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- PEM: Presupuesto de ejecución de material.
- PEC: Presupuesto de ejecución por contrata.
- S.A: Sociedad Anónima.
- S.L: Sociedad limitada.
- BOE: Boletín Oficial del Estado.
- COV: Compuestos orgánicos volátiles.
- DN: Diámetro nominal.
- NUT: Número de unidades de transferencia.
- HUT: Altura de la unidad de transferencia.
- NPSH: *Net positive suction head*.
- VAN: Valor actual neto.
- TIR: Tasa interna de rentabilidad.
- PR: Periodo de retorno.
- FC: Flujo de caja.
- CA-1: Columna de absorción 1.
- CRG-1: Columna de regeneración 1.
- IC-AA: Intercambiador de calor amina-amina.
- ICC: Intercambiador de calor complementario.

### 4.2.2 NOTACIÓN UTILIZADA

- $c$ : Concentraciones en ambas fases y en sus respectivas interfases (kmol soluto/m<sup>3</sup> disolución).
- $k_a$  y  $k_b$ : Coeficientes individuales de transferencia de materia (kmol soluto/h m<sup>2</sup>(kmol soluto/m<sup>3</sup> disolución))
- $N_s$ : Densidad del flujo de materia (kmol soluto/h m<sup>2</sup>)
- H<sub>2</sub>S: Ácido sulfhídrico.
- CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono.
- CH<sub>4</sub>: Metano.
- H<sub>2</sub>: Hidrogeno.
- CO: Monóxido de carbono.
- N<sub>2</sub>: Nitrógeno.
- O<sub>2</sub>: Oxígeno molecular.
- H<sub>2</sub>O: Agua.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- pH
- °C: Grados centígrados.
- K: Grados Kelvin.
- %: Porcentaje.
- P: Presión ( $\text{kg/m}^2$  o Bar o Pa).
- T: Temperatura (°C o K).
- $\rho$ : Densidad ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\mu$ : Viscosidad (cP).
- $\chi$ : Humedad (mg/l).
- v: Velocidad (m/s).
- PM: Peso molecular (g/mol).
- Q: Caudal volumétrico ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).
- m: Caudal másico (kg/h).
- G: Caudal molar de gas (kmol/h).
- L: Caudal molar de líquido (kmol/h).
- q: Flujo de calor (W).
- P: Potencia (W).
- $D_e$ : Diámetro externo (m).
- H: Altura (m).
- e: Espesor (m).
- R: Radio de la corona (m).
- r: Radio del codillo (m).
- h: Altura de la faldilla/plano de pestaña (m).
- $C_p$ : Calor específico ( $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ ).
- a: Factor de superficialidad por volumen del relleno ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ).
- X: Fracción de espacio vacío que deja el relleno.
- g: Aceleración de la gravedad. ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).
- A: Área ( $\text{m}^2$ ).

## 5. REQUISITOS DE DISEÑO

Como base para el diseño se tomará la corriente de biogás obtenido del digestor nº2 de la EDAR de Castellón de la Plana, que entrara por la base de la columna a diseñar para su desulfuración.

### 5.1 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA CORRIENTE A TRATAR

En la **Tabla M5.1** se detallan las variables necesarias para caracterizar la corriente de biogás a tratar. Es importante remarcar que algunos de los datos se han obtenido realizando una media con todos los datos de los que se dispone de la producción de la planta durante el año 2017.

**Tabla M5.1. Variables fisico-químicas de la corriente a depurar.**

Variable	Corriente 1 (Salida digestor N°2)
Caudal molar (kmol/h)	206,16
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	4006,72
Caudal másico (kg/h)	4774,80
Estado físico	Gaseoso
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,1917
Temperatura (°C)	32
Viscosidad (cP)	1,05
Peso Molecular medio (g/mol)	23,1605
Humedad (mg/l)	8

El  $PM_{\text{medio}}$  del biogás se ha calculado de forma estimada, el desarrollo de su obtención se detalla en el Anexo 1 de este mismo proyecto.

Otros datos como la viscosidad se han tomado de valores estándar para biogás de composiciones similares.

Y a continuación en la **Tabla M5.2** se detalla la composición de la corriente de biogás a tratar:

**Tabla M5.2. Composición de la corriente a depurar.**

Componente químico	Fracción molar (%)	Caudal molar (kmol/h)
CH <sub>4</sub>	49,01	101,03
H <sub>2</sub> S	0,1	0,206
CO <sub>2</sub>	26,8	55,25
N <sub>2</sub>	19	39,17
O <sub>2</sub>	5,09	10,49
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>206,16</b>

## 5.2 ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO

En el diseño tanto de la columna de absorción como de los equipos auxiliares que sean necesarios (deshumidificador, regenerador amina...) se establece una serie de especificaciones a seguir en el proceso de diseño y que se aplicarán durante todo el proceso de cálculo y diseño de este proyecto. Dichas especificaciones de diseño son:

- Es necesario eliminar el 95 % de H<sub>2</sub>S de la corriente a depurar, dado que el sistema que se va a proyectar surge como solución al actual que no alcanza esos niveles de depuración y no permite un sistema de valorización por pila de combustible.
- Para el proceso de diseño de la columna consideraremos que el CO<sub>2</sub> no reacciona en su interior, es decir, que todo lo que entra sale.
- La composición de H<sub>2</sub>S va a obtenerse en base a una estimación y a estimaciones concretas de otras EDAR, dado que no se dispone de datos experimentales de la planta puesto que actualmente la desulfuración se realiza de manera previa a la generación.
- En caso de que la columna tenga una altura de más de 5 metros, se colocarán distribuidores del líquido en su interior cada 2 o 3 metros para evitar la creación de caminos preferenciales.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

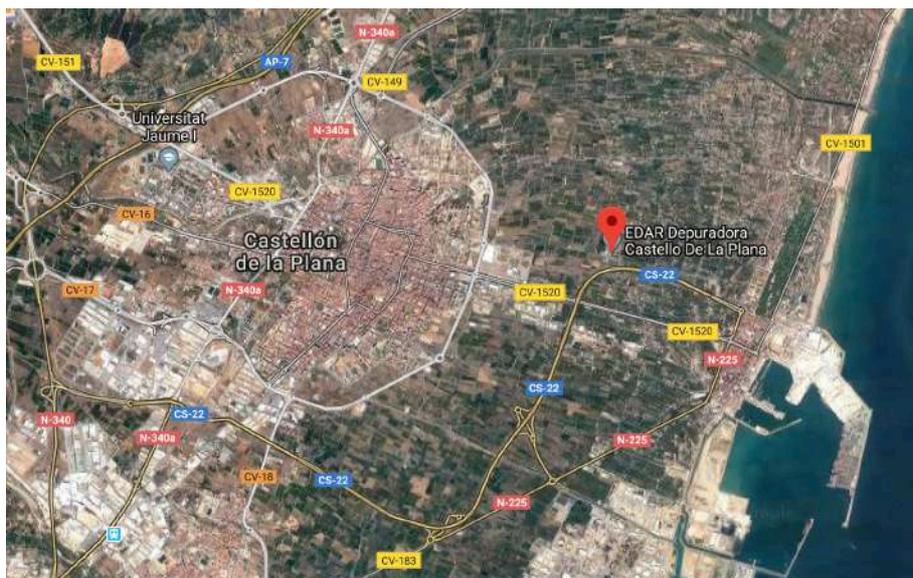
- Por datos bibliográficos, se establece que para la DEA la relación molar de gas ácido por mol de amina debe encontrarse idealmente en 0,4. Cuando este valor excede de 0,5 o 0,6 la amina se vuelve altamente corrosiva en tuberías de acero al carbono (sobretudo a temperaturas altas).

### 5.3 EMPLAZAMIENTO

El lugar de emplazamiento del proceso descrito y proyectado en los presentes documentos será en la EDAR de Castellón de la Plana, situada en la provincia de Castellón.

En la **figura M5.1** se muestra la vista de satélite de la ubicación de la EDAR:

**Figura M5.1. Vista satélite del municipio de Castellón.**



Además, se muestra también a continuación la vista de satélite de la depuradora en mas detalle:

**Figura M5.2. Vista detalle del satélite.**



La EDAR a la que se refiere el presente proyecto es una de las mayores de la provincia, incorporando una capacidad de tratamiento diaria elevada, y aplicando técnicas de depuración de aguas de ciclo completo, como tratamientos terciarios, generación de biogás y cogeneración energética. En la **Figura M5.3** se muestra el cuadro resumen de la EDAR en estudio.

**Figura M5.3. Ficha técnica de la EDAR.**

Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR)	
CASTELLÓN DE LA PLANA	
<b>Comarca</b>	
La Plana Alta	
<b>Empresa Explotadora</b>	<b>Asistencia Técnica</b>
FACSA	CIOPU, SL
<b>Datos de la EDAR</b>	
Caudal de proyecto (m <sup>3</sup> /d): 45.000	
Potencia Total Instalada (kW): 1.369	
Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30)	
X: 755743	
Y: 4430531	
Z: 5	
<b>Municipios Servidos</b>	
Benicàssim / Benicasim    Castelló de la Plana / Castellón de la Plana	
<b>Datos Funcionamiento 2016</b>	
Caudal (m <sup>3</sup> /día): 37.416    Población servida (he): 184.582    Rendimientos (%): SS: 96    DBO5: 97    DQO: 92	

## 6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Este apartado de la memoria analizará paso a paso la selección que se ha seguido durante todo el documento en:

- Métodos de cálculo usados en el diseño, basándose en aspectos científicos, prácticos, económicos y ambientales simultáneamente.
- Elección de los equipos de acuerdo a su idoneidad respecto al problema en estudio.

### 6.1 ANALISIS DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN

#### 6.1.1. INTRODUCCIÓN. EL PROCESO DE ABSORCIÓN

La absorción de gases es una operación unitaria que consiste en poner en contacto una mezcla gaseosa con un solvente que absorba de forma selectiva algunos componentes de la mezcla para su posterior eliminación o tratamiento, dando como resultado un gas limpio de ciertos compuestos y un solvente que contiene el soluto absorbido.

En la operación es importante controlar ciertas variables para evitar que la transferencia de materia se produzca en dirección opuesta (del líquido al gas, desorción).

Es importante remarcar que la absorción no es una operación estrictamente física, sino que existen procesos en los que simultáneamente se produce reacción química (como el caso de absorción de  $H_2S$  por una amina, en la que la amina reacciona con el ácido formando una sal).

Para el análisis de la transferencia de materia de una fase a otra en la absorción tomaremos algunas simplificaciones físicas para hacer el cálculo más sencillo sin que esto afecte necesariamente a la exactitud de este:

- Las dos fases circularán en contracorriente.
- El régimen de circulación será turbulento.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Se considerará que es una operación continua en estado estacionario.
- Se supondrá que la transferencia desde una fase a otra será instantánea.
- Las velocidades de transferencia a través de ambas fases será la misma.
- Se alcanzará el equilibrio a ambos lados de la interfase.

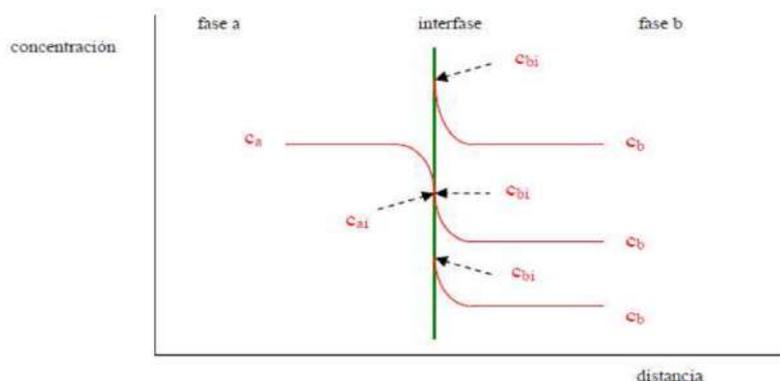
A continuación se resumirán las teorías que describen los procesos de transferencia de materia entre dos fases, a modo explicativo del proceso industrial en sí.

### *6.1.1.1 Teoría de la doble película de Whitman*

Para poder conocer las ecuaciones de velocidad de la operación de absorción, necesitamos conocer los perfiles de concentración del  $H_2S$ . Recurriendo a la **teoría de la doble película de Whitman** podemos establecer que cuando un fluido circula turbulentamente junto a una interfase, toda la resistencia al transporte de materia estará concentrada junto a la interfase. Es decir, que la resistencia de transporte desde el seno de la fase en flujo turbulento a la interfase será igual a la que ofrecería una película de grosor ficticio circulando laminarmente junto a la interfase. Esto implica que la fuerza impulsora de la operación (el gradiente de concentraciones) se establecerá a través de esa película laminar, haciendo que se pueda considerar constante la concentración en el seno, y estudiando su gradiente solo en esa película laminar ficticia (que se considerará doblemente por las dos fases).

Por tanto, la **figura M6.1** representa cualitativamente la variación de la concentración de soluto en una sección transversal del aparato desde la masa de una fase a la otra, donde  $c_a$  y  $c_b$  son las concentraciones másicas medias en cada fase, y  $c_{ai}$  y  $c_{bi}$  las concentraciones en la interfase.

**Figura M6.1. Perfil de concentración entre dos fases fluidas inmiscibles.**



Así, con las simplificaciones establecidas, se puede tener en cuenta para el diseño que:

$$c_{ai}=f(c_{bi}) \quad (\text{Ec. M6.1})$$

#### 6.1.1.2 Densidad de flujo de materia

Admitiendo un régimen de circulación turbulento, y una transferencia de materia simultánea por transporte molecular y turbulento, la densidad de flujo de materia de una fase a otra será:

$$N_s=k_a(c_a-c_{ai})=k_b(c_{bi}-c_b) \quad (\text{Ec. M6.2})$$

Donde:

-  $c_a$ ,  $c_b$ ,  $c_{ai}$  y  $c_{bi}$ : Concentraciones de soluto en ambas fases y en sus respectivas interfases ( $\text{kmol soluto/m}^3$  disolución).

-  $k_a$  y  $k_b$ : Coeficientes individuales de transferencia de materia ( $\text{kmol soluto/h m}^2(\text{kmol soluto/m}^3 \text{ disolución})$ )

-  $N_s$ : Densidad del flujo de materia ( $\text{kmol soluto/h m}^2$ )

La densidad de flujo de materia determinará la cantidad de soluto que se transfiere de una fase a otra por unidad de tiempo y superficie.

### 6.1.2. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

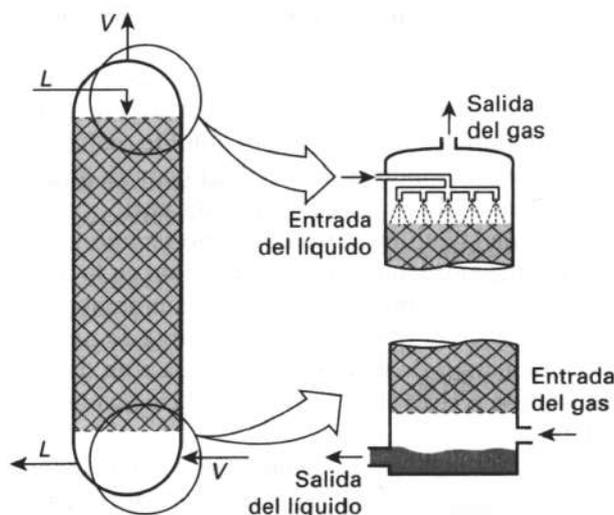
Al analizar los equipos de absorción que pueden diseñarse para llevar a cabo esta operación unitaria, existen dos grandes grupos:

- Torres de absorción
- Tipos diversos de equipos de absorción

Por precedentes experimentales, para esta desulfuración elegiremos una torre de absorción, la cual se puede desglosar en tres tipos diferentes según su configuración:

- Columnas de relleno: El tipo más usado. La parte cilíndrica de la torre es la que contiene el relleno seleccionado. Es primordial para su buen funcionamiento una buena distribución del líquido en la parte superior, para evitar caminos preferentes y lograr una buena distribución (clave para aumentar el área de transferencia de materia). Además, se recomienda elegir un relleno con un diámetro de 8 a 10 veces menor que el diámetro de la torre (como mínimo) para evitar creación de canales y superficie de relleno no mojada. En la **Figura M6.2** se muestra el esquema básico de una torre de relleno tipo.

**Figura M6.2. Esquema de una columna de relleno estándar.**



- Columnas de platos: La torre esta formada por platos perpendiculares al flujo del gas y el liquido, con pequeñas aperturas, campanas...que ponen en contacto intimo el

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

gas y el líquido en cada plato. Es una operación por etapas, donde se considera cada plato como una etapa diferente.

- Columnas de pulverización: Básicamente consiste en una columna vacía en la que el líquido se introduce por pulverización para aumentar el contacto. Esto también provoca que existan arrastres de líquido y gas en ambas corrientes y que sean necesarias varias unidades para lograr la absorción deseada.

Para este proyecto se opta por una columna de relleno, descartando directamente las columnas de pulverización por no alcanzar los requisitos mínimos de eficiencia que se buscan. La decisión se ha visto favorecida por los siguientes factores:

- Espuma: Los líquidos con tendencia a formar espumas son más fácilmente controlables en las columnas de relleno que en las de platos, dado que el líquido se ve menos sacudido por el gas entre el relleno.
- La pérdida de carga siempre será mayor en una columna de platos, dado que la apertura libre de los platos sumado a la capa de líquido que se acumula sobre estos, genera una pérdida de presión que no puede competir con la gran apertura libre, casi igual al diámetro de la torre, que consiguen los rellenos.
- Por temas económicos, se prefieren las columnas de relleno por su coste más bajo de construcción, así como de mantenimiento posterior.

### 6.1.3. COLUMNAS DE RELLENO

Básicamente, una columna de relleno consiste en un cuerpo cilíndrico, con un plato que sirve de soporte para el relleno en la parte inferior, y un distribuidor del líquido en la parte superior. Los rellenos existentes son variados, y normalmente son colocados dentro de la columna de forma aleatoria, dejando que formen una estructura al azar, aunque también existen aplicaciones que exigen colocar el relleno de forma estructurada.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- *PRINCIPIOS DE OPERACIÓN:*

El solvente es introducido de manera uniforme por cabeza de columna, fluyendo este hacia el fondo de la columna, mojando el relleno y entrando en contacto directo con el gas que asciende.

La selección del solvente a utilizar es muy importante. Hay que seleccionar un solvente que tenga una selectividad adecuada hacia el soluto que queremos extraer del gas, pero también hay que valorar para la selección el precio del solvente, el gasto necesario para su regeneración (si fuera necesaria) y valores ambientales.

La operación de absorción en la columna de relleno nunca va a obtener una eficacia del 100%, pero con un diseño adecuado los restos de contaminante en la corriente de salida del gas pueden ser insignificantes y despreciables.

En caso de existir partículas sólidas en el gas, su control se hará por medio del impacto de estas contra el relleno, siendo después arrastradas por el líquido hacia el fondo de columna. En el biogás las partículas son escasas o inexistentes.

La eficacia de las torres de relleno se estima que ronda valores de entre 95 y 99% para contaminantes inorgánicos.

- *VENTAJAS DE LAS COLUMNAS DE RELLENO:*

- Caída de presión relativamente baja.
- En caso de trabajar con sustancias altamente corrosivas existe la posibilidad de construirlas en plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Inversión inicial relativamente baja.
- Requisitos de espacio poco exigentes (tamaños reducidos dependiendo de la operación realizada).
- Capacidad de eliminación de partículas y gases.
- Control de espumas bueno.
- Se pueden lograr eficiencias en la transferencia de materia altas.

- *DESVENTAJAS DE LAS COLUMNAS DE RELLENO:*

-Dependiendo del producto a depurar y del solvente utilizado los costes de mantenimiento pueden ser altos (la limpieza es habitualmente manual).

-La elección del relleno puede ser en ocasiones un problema, ya que por la propia construcción de una columna o por la dispersión del líquido podemos no lograr una buena eficacia.

- Si la entrada del líquido no se distribuye de forma correcta se pueden crear caminos preferentes del líquido, lo que puede provocar relleno sin mojar y por tanto un área de contacto gas-líquido más pequeña, lo que reduciría la eficacia.

#### 6.1.4. SELECCIÓN DEL RELLENO

La selección del relleno y su disposición dentro de la columna son claves para un buen funcionamiento operativo del absorbedor.

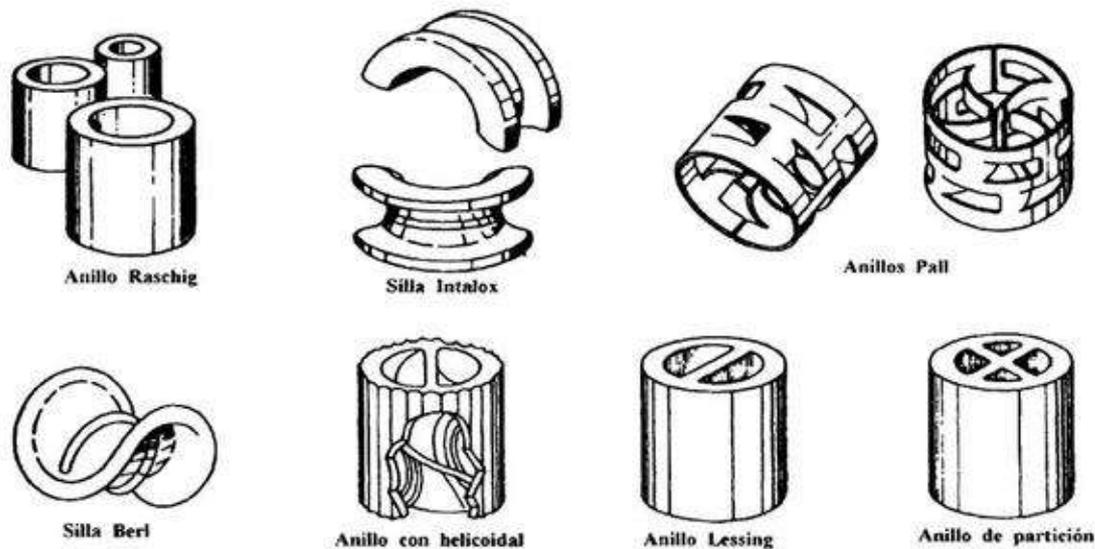
La primera toma de decisiones debe ser la selección del relleno a utilizar, se expondrán a continuación los tipos de rellenos más habituales en el mercado, seguido de las características que debería cumplir un relleno ideal y finalmente la selección de uno de ellos que se adecue a un nivel óptimo al proceso en diseño de este proyecto.

Los tipos de relleno son muy variados, tanto en forma como en materiales (aunque típicamente están contruidos en metal, cerámica o plástico) y su colocación en la columna puede darse de forma aleatoria o de forma ordenada.

Cuando se monta un relleno con estructura ordenada y no aleatoria, aumentan los costes de montaje y mantenimiento, además de que la variedad de rellenos a utilizar se reduce a unos pocos. Para el proceso de absorción en estudio la disposición será aleatoria, ya que una estructura ordenada tampoco favorecería la eficacia del proceso.

En la **figura M6.3** se muestran los tipos de relleno más habituales en la industria.

Figura M6.3. Tipos de relleno mas habituales en la industria química.



- Los anillos Raschig son trozos de tubo cilíndrico que cumplen la condición de tener un diámetro igual a su altura ( $D=H$ ). Es un relleno con capacidad de ser usado para rellenos estructurados o aleatorios, tiene un espesor lo mas fino posible que le permite su resistencia mecánica y pueden estar fabricados en cerámica o metal. Existen variaciones de los anillos Raschig con mallas interiores o divisiones.
- Las monturas Berl son generalmente porcelánicas, con una forma irregular muy parecida a la montura de un caballo. Solo pueden utilizarse para conformar rellenos aleatorios. Era un relleno bastante utilizado en el siglo XX y que proporciona buenas eficacias en la operación. Actualmente esta prácticamente en desuso.
- Los anillos Pall (y variantes de este) es uno de los rellenos mas utilizados, tanto en lechos estructurados como aleatorios. Su único inconveniente es su precio, bastante elevado.
- Por último, la silla intalox es un relleno de forma irregular, fabricado para montar lechos de relleno aleatorios, consiguiendo grandes eficacias y un área mojada elevada. Pueden estar fabricadas en cerámica o metal. Por el contrario son rellenos que cierran mucho el área de paso abierta.

La selección de un relleno tiene que tener en cuenta ciertas características de estos:

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Relación peso-volumen: Debe tener un peso bajo por unidad de volumen, lo que proporcionará un precio mas reducido y menor presión mecánica sobre las paredes de la torre y sobre el soporte inferior del relleno.
- Relación superficie-volumen: Se debe buscar un relleno que tenga la máxima superficie posible aprovechable en relación a su volumen, lo que aumentará la superficie de contacto liquido-gas, y por tanto la eficacia de la operación.
- Volumen de vacío: Esta variable considera el nivel de vacío que deja el relleno. A mayor espacio vacío menores pérdidas de carga en la columna, menor arrastre del liquido por la fase gas y también menor velocidad de circulación del gas.
- Debe tener una capacidad alta de humectación superficial, pero no de retención de líquidos.
- Se recomienda que el tamaño del relleno sea aproximadamente una decima parte del diámetro de la columna o menor de ese valor, para reducir al tendencia del liquido de dirigirse hacia las paredes.
- Resistencia química y mecánica.
- Precio reducido.

El relleno elegido para este proceso ha sido el Anillo Pall de polipropileno 15,9 mm. A continuación se exponen las razones de la selección realizada.

El anillo Pall con respecto a las otras opciones que se han valorado (principalmente la decisión se ha tomado entre los anillos Pall, los anillos Raschig y las monturas intalox) resulta ser una mejor opción por:

- Tener una densidad menor:  $112 \text{ kg/m}^3$  . Lo que lo convierte en un relleno realmente ligero, lo que ofrecerá un peso total de la columna mucho menor.
- Una superficie de contacto buena:  $341 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . La elección de un relleno con una alta superficie de contacto reducirá las dimensiones necesarias de la columna a diseñar.
- Un porcentaje de espacio libre mayor: Hasta un 87% en el tamaño elegido.
- Por el contrario es un relleno mas delicado, con mayor facilidad de corrosión. Se ha comprobado la ficha técnica del fabricante para comprobar

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

que este material es resistente al  $H_2S$  y su corrosión, por lo que en principio no debería suponer ningún problema el uso de un relleno plástico.

Se ha elegido el material plástico en lugar del cerámico o metálico para el relleno por su coste menor, ya que en la operación que se va a realizar en la columna, aun existiendo elementos corrosivos y ácidos ( $H_2S$ ), existen en unas proporciones pequeñas que no suponen un gran problema de corrosión. Además, el factor que ha condicionado en mayor medida la decisión ha sido la del peso, ya que el relleno plástico ofrecerá un peso total de la columna mucho mas reducido.

### 6.1.5. SELECCIÓN DEL SOLVENTE

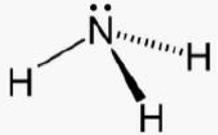
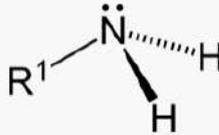
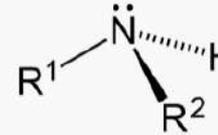
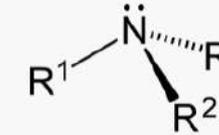
La siguiente selección a hacer para el diseño de la columna de absorción es la del solvente a utilizar para absorber el soluto del gas.

La bibliografía consultada coincide en que los solventes mas utilizados de forma general para la absorción del  $H_2S$  en la industria química han sido históricamente el  $H_2O$ , las disoluciones de  $H_2O$ - $NaOH$  y de manera mas actual las aminas termoestables.

Las aminas son generalmente utilizadas en la industria petroquímica para el endulzamiento del gas natural y de gases del proceso de refino, por ser en general un proceso más costoso que los que utilizan cualquiera de las otras opciones. Aun así, para este proyecto se ha optado por un proceso de absorción por aminas, por querer plantear un sistema de absorción con una eficiencia alta y un coste bajo, creando un sistema de cogeneración propio que use el calor residual de la pila de combustible para regenerar la amina, lo que a priori puede convertirlo en un sistema de bajo costo y alta eficiencia.

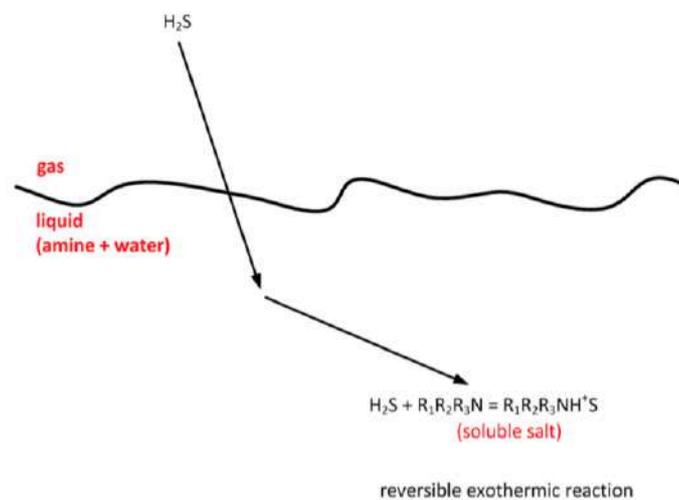
Las aminas son compuestos químicos orgánicos que se consideran derivados del amoniaco. Resultan de la sustitución de los hidrógenos de la molécula por los radicales alquilo, y dependiendo del numero de hidrógenos sustituidos se denominará amina primaria, secundaria o terciaria (**Figura M6.4**).

**Figura M6.4. Estructura molecular de las aminas.**

Amoniaco	Amina primaria	Amina secundaria	Amina terciaria
			

Las aminas se consideran bases orgánicas, por lo que pueden reaccionar con ácidos formando sales (de ahí su carácter de absorción de ácidos). Como se detalla en la **Figura M6.5**, la reacción de absorción del sulfhídrico por una alcanoamina es exotérmica y reversible (lo que permite su regeneración).

**Figura M6.5. Absorción del H<sub>2</sub>S por una amina terciaria.**



Las aminas mas utilizadas en procesos de absorción son:

- MEA (Monoetanolamina): Utilizada en aplicaciones de baja presión y eliminación completa del gas ácido. Amina primaria y altamente reactiva de precio reducido, una buena estabilidad térmica y eliminación parcial de COVS y CO<sub>2</sub>. La MEA tiene una naturaleza altamente corrosiva y requiere de una gran cantidad de energía para su regeneración, además la selectividad es muy limitada. Es fácilmente degradable, por lo que si se usa en procesos continuos necesita de una *reclaimer* semicontinuo.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- DEA (Dietanolamina): Amina secundaria, muy utilizada para purificar gases con H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y COVS, debido a su buen equilibrio entre reactividad y corrosividad. En comparación con la MEA, es una amina menos reactiva, más barata y menos corrosiva
- MDEA (Metildietanolamina): Amina terciaria que en disoluciones muy concentradas es selectiva para el H<sub>2</sub>S. Tiene baja presión de vapor, alta resistencia a la degradación, baja corrosividad y una baja demanda de energía para su regeneración. Por el contrario, tiene una reactividad baja y es mas cara que las otras.

Los factores a tener en cuenta a la hora de la elección de una amina son:

- Volatilidad: Se preferirá un solvente con una presión de vapor baja para minimizar al máximo las perdidas durante su uso en la operación de absorción. En el caso de las tres aminas expuestas (las más comunes en usos industriales), la dietanolamina (DEA) es la que posee una menor presión de vapor (0,1 mbar a 20°C), por lo que su uso en la absorción proporcionará a la larga unas perdidas menores de disolvente, y menor necesidad de reposición de este.
- Capacidad de gas ácido: Esta característica supone la cantidad de gas ácido que es capaz de absorber una amina proporcionalmente. Es decir, a una mayor capacidad de la amina, una menor cantidad de solvente será necesario introducir a la columna. La monoetanolamina (MEA) es la que mayor capacidad tiene (**Figura M6.6**).

**Figura M6.6. Características de las distintas aminas en absorción.**

	MEA	DEA	DGA	MDEA
Weight % amine	15 to 25	30 to 40	50 to 60	40 to 50
Rich amine acid gas loading mole acid gas / mole amine	0.45 to 0.52	0.21 to 0.81	0.35 to 0.44	0.20 to 0.81
Acid gas pickup mole acid gas / mole amine	0.33 to 0.40	0.20 to 0.80	0.25 to 0.38	0.20 to 0.80
Lean solution residual acid gas mole acid gas / mole amine	~0.12	~0.01	~0.06	0.005 to 0.01

- Capacidad de regeneración de la amina: La MDEA es la amina que requiere de menos energía para su regeneración, aunque su precio más caro no compensa su elección dado que tanto la DEA como la MEA tienen una demanda de energía bastante cercana en valor a la MDEA, mas aun teniendo en cuenta los caudales con los que se va a trabajar. (**Figura M6.7**)

**Figura M6.7. Características de distintas aminas en absorción.**

Características	MEA	DEA	DGA	MDEA	MDEA+MEA	MDEA+DEA
Concentración (%)	20	35	50	50	35 + 15	35 + 15
Caudal de reciclo (gpm)	120	100	80	90	90	110
Carga máxima de gas ácido (%)	70,8	75	76,8	69	73,3	69
Carga amina rica (mol gas ácido/mol amina)	0,442	0,360	0,346	0,203	0,309	0,244

Con estos datos cualitativos y cuantitativos estudiados, para el proceso de absorción en estudio se selecciona la DEA (dietanolamina), por suponer una opción que aporta experiencia en su uso (datos experimentales en la bibliografía), además de una capacidad de absorción buena, una cantidad de energía para su regeneración aceptable y sobretodo una volatilidad muy baja. Es importante remarcar que la DEA usada va a ser una disolución de esta con agua, la bibliografía establece por norma general una disolución al 20% en peso de DEA.

#### 6.1.5 DISEÑO DE LA COLUMNA

Los procedimientos de cálculo que se han seguido para la determinación de la capacidad y el diseño de la columna de absorción de relleno, junto con diversas consideraciones teóricas principalmente sobre transferencia de materia, se introducen en este apartado, junto con los resultados finales obtenidos, pero su proceso queda detallado en el Anexo II de este mismo proyecto.

En primer lugar, a partir de los datos de características y composición de la corriente de gas que entra a la columna y de las limitaciones impuestas a las otras corrientes, se han

podido plantear balances de materia y energía que han permitido determinar de forma aproximada las cantidades de líquido y vapor en distintas secciones de la columna, así como las condiciones de todas las corrientes de entrada y salida de la columna.

Una vez caracterizadas todas las corrientes, se calculará el diámetro y seguidamente la altura de relleno, teniendo en cuenta en primer lugar la Teoría de la doble película de Whitman, que establece que las diferencias de concentraciones serán despreciables excepto en las proximidades de la interfase, donde existirá una fina capa ficticia en régimen laminar en la que se producirá la transferencia de materia únicamente por difusión molecular.

Es importante destacar que la variable de la altura de relleno es la que marca las necesidades del diseño para conseguir una absorción deseada, ya que el diámetro en sí solo tendrá en cuenta los caudales de ambas fases y sus respectivas densidades. Es decir, el diámetro marcará de alguna manera las necesidades de tamaño superficial para el flujo de ambas fases, pero la altura tendrá en cuenta la transferencia de materia de soluto de una fase a otra y la velocidad de esa transferencia.

En este caso en particular en el que como solvente se ha seleccionado una amina termoestable, consideraremos que la absorción será química, es decir, quimiabsorción.

El hecho de que se lleve a cabo una quimiabsorción hace que el estudio de la transferencia de masa de una fase a otra tenga ciertas particularidades a tener en cuenta, como por ejemplo, la consideración de que será una reacción química relativamente instantánea, por lo que las concentraciones de soluto en la interfase podrán considerarse nulas.

#### *6.1.5.1. Diámetro de la columna*

El cálculo del diámetro de la columna se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la velocidad de anegamiento de la columna, haciendo uso de la gráfica de Lobo. Se ha considerado que este método puede ser lo suficientemente preciso para el proceso que se lleva a cabo en este proyecto y con el que podemos obtener un diámetro de columna que podamos aproximar a un valor nominal.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

La velocidad de anegamiento supone la velocidad con la que un sistema de este tipo sufriría inundación interna por un flujo excesivo de gas que limite el flujo del líquido en contracorriente, provocando la inundación de la columna. Generalmente, todas las fuentes bibliográficas consultadas coinciden en tomar como velocidad de diseño para el cálculo del diámetro una que suponga entre un 50 o 70% de la velocidad de anegamiento. Para el diseño de esta columna se tomará una velocidad que supondrá un 60% la velocidad de anegamiento.

Ese valor que se obtiene en el eje de ordenadas de la gráfica de Lobo se iguala a la ecuación, en la que la única incógnita es la velocidad superficial del gas. A partir de la velocidad superficial del gas, puede obtenerse directamente el valor de la superficie de la columna y a partir de esta, el diámetro.

El cálculo de este procedimiento queda detallado en el Anexo 2/Sección A2.5 de este proyecto, en el que se obtiene un valor del diámetro de **D=850,2 mm**.

### *6.1.5.2. Altura de relleno de la columna*

El cálculo de la altura de relleno supondrá un análisis un poco más complejo que el cálculo del diámetro, ya que se deben considerar en este caso las leyes que rigen la transferencia de materia de una fase a otra para el caso en estudio, buscando siempre la máxima precisión posible en los cálculos. Se hace uso del Método de Chilton y Colburn, concretamente de la simplificación de este para absorción con reacción química, tal y como se detalla en el Anexo II.

Para el cálculo de la altura del relleno, se procederá de la siguiente manera:

- Calcular el coeficiente de fricción a partir de la ecuación general dada para la transferencia de materia en una columna de pared mojada. (Manual del Ingeniero Químico, Perry). En base a esto, se podrá calcular el coeficiente de transferencia de materia para la fase gas del sistema.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Determinar las unidades globales de transferencia de gas y la altura de la unidad global de transferencia para el gas para una absorción química,
- Finalmente, con estas dos variables se obtiene de forma directa el valor de la altura de relleno.

### 6.1.5.2.1. Coeficiente de transferencia de materia $k_G$

En primer lugar, se deberá calcular el coeficiente de transferencia, que determinará la cantidad de soluto por unidad de tiempo y superficie que se transfiere de una fase a la otra.

El cálculo del coeficiente puede llevarse a cabo de variadas formas, pero en este caso, se ha recurrido a la bibliografía para encontrar un método que nos permitiera calcularlo de una forma relativamente sencilla.

El cálculo se hará recurriendo a una expresión que puede derivarse de una columna de pared mojada, teniendo en cuenta variables como el número adimensional de Reynolds, el diámetro de la columna y el coeficiente de difusividad del soluto.

De esa manera, con los datos de los que se dispone en la operación llevada a cabo, se obtiene el siguiente valor para el coeficiente individual de transferencia de materia en la fase gas:

$$k_G=1,151 \cdot 10^{-4} \text{ kmol H}_2\text{S/m}^2 \cdot \text{s}$$

En el Anexo II se detalla el proceso de cálculo del coeficiente.

### 6.1.5.2.2. NUT y HTU. Altura de relleno.

El método de Chilton y Colburn puede simplificarse a la obtención de la altura de relleno mediante la obtención del NUT y HTU, ambos valores multiplicados dan como resultado la altura de relleno necesaria para una operación de absorción en concreto.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

El NUT (número de unidades de transferencia) es un valor adimensional que representa la dificultad en si para alcanzar la absorción deseada, es decir, el número de “unidades” ficticias que harían falta para lograr la separación deseada.

El HTU (altura de la unidad de transferencia) en cambio tiene unidades de longitud (m), y representa la altura necesaria que deberá tener cada una de esas unidades del NUT para lograr el proceso de absorción.

El proceso de obtención de la altura de relleno se desarrolla en el Anexo II de este proyecto, obteniendo un valor de NUT, HTU y altura de relleno para el proceso de absorción estudiado de:

$$N_{GT} = 2,99 \text{ NUT}$$

$$H_{GT} = 2,5666 \text{ m}$$

$$\mathbf{h=7,6741 \text{ m}=7674,1\text{mm}}$$

Como heurísticamente no se recomienda una altura mayor de 6,1 m de relleno dado que a partir de esas longitudes el líquido empieza a crear caminos preferenciales muy acusables, se deberá repartir la altura de relleno necesaria en dos lechos de 3,837 m cada uno, separados 15 cm entre si.

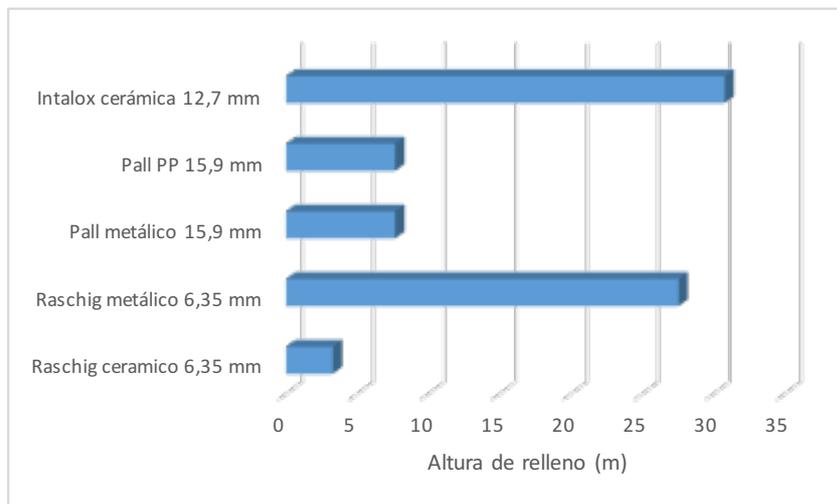
Es importante remarcar que la altura de relleno no supone la altura total de la torre, ya que se debe calcular la geometría de elementos como cubiertas, fondos y cabezas de columna, distribuidores de líquido y gas, rejillas de sujeción y otros elementos.

Además, se decide hacer una comprobación de que el relleno elegido es el adecuado para este proceso, teniendo en cuenta los factores entre los que habrá que buscar un óptimo para dar como válido el anillo Pall de polipropileno de 15,9 mm. Estos factores serán:

- Altura de relleno necesaria con cada relleno. Importante dado que una altura excesiva encarecería de forma exponencial el precio del proyecto además de incrementar la inseguridad en el montaje de esta. En la **gráfica M6.1** se

muestra las alturas de relleno necesarias para cada relleno de los valorados en la selección principal:

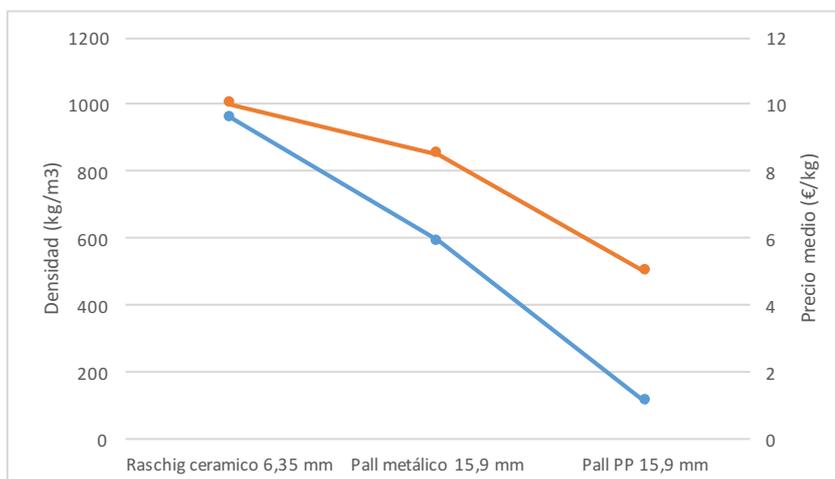
**Gráfica M6.1. Alturas de relleno necesarias con cada tipo de relleno.**



Como se puede observar, en esta primera comparación ya se podrían descartar el Intalox de cerámica y el Raschig metálico, dado que las alturas de relleno necesarias serían tan excesivas que el proceso sería inviable técnica y económicamente.

- En segundo lugar se comparará el precio medio de los rellenos con su densidad. En esta comparación se debe analizar que relleno ofrecerá una mejor condición económica de puesta en marcha junto con el peso total que aportará a la columna (el peso que aporte también influiría en un incremento del coste final). En la **gráfica M6.2** se muestra esta comparación:

**Gráfica M6.2. Comparación bilateral de precio y densidad.**



En esta última comparación, se observa que el relleno que ofrece un mejor equilibrio entre las tres variables analizadas es el anillo Pall de polipropileno de 15,9mm, por lo que se concluye que la elección realizada anteriormente es válida para el proceso estudiado.

#### 6.1.5.3. Variables del diseño mecánico de la columna

Las variables a tener en cuenta para un correcto diseño mecánico de la columna son las siguientes, el procedimiento de obtención de las cuales queda detallado en el Anexo II:

- Presión de diseño: En primer lugar para el diseño mecánico de la columna, habrá que calcular la presión de diseño, para ello se tendrá cuenta la presión hidrostática que ejercerá la columna de líquido dentro de la columna y una aproximación de la presión que ejercerá el relleno en la columna. Se despreciarán para el cálculo el valor aportado por el gas circulante y los accesorios de la columna.

Se obtiene un valor de presión de diseño de  $P_{\text{diseño}}=2,054 \text{ bar}$ .

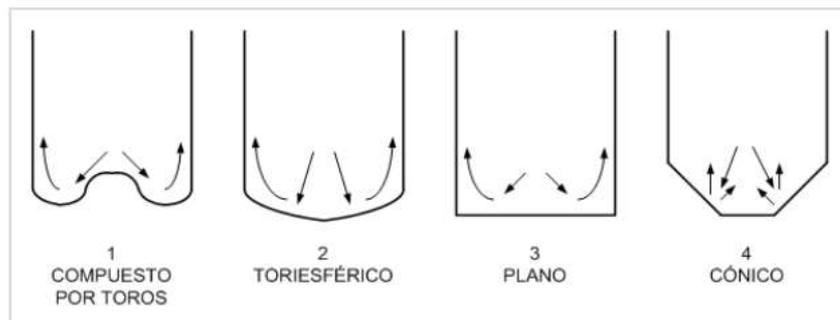
- Material de construcción: Se debe buscar un material que cumpla un triple compromiso entre cumplimiento de la legislación, precio contenido y una cobertura buena de las necesidades del equipo a construir. Aplicando la norma ASTM/ASME (American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessels Code), en concreto la sección VII donde se profundiza en los recipientes a presión, y establece las normas mínimas de construcción y buscando en el proveedor de acero BACHILLER, se llega a la conclusión de elegir el acero al carbono SA 285 Gr C.

Este acero es muy usado en la industria, cumple los requisitos marcados por la norma ASME y es de los más económicos. Para la toma de decisión ha sido importante tener en cuenta que los compuestos que pasarán por la columna no serán corrosivos (el H<sub>2</sub>S es corrosivo, pero se encuentra en pequeñas proporciones en el gas y además no existirá combustión de este dentro de la columna) y que no superarán los 900°F (temperatura límite del material).

- Espesor de la envolvente: El cálculo del espesor de la envolvente se realizará según el procedimiento detallado en el Código ASME-Sección VIII-División 1, para recipientes sometidos a presión interna. El valor obtenido para el espesor necesario de la envolvente de la columna es de  $e=7,28 \text{ mm} \approx 7,5 \text{ mm}$ .

- Fondos y cabezales de columna: Los más utilizados en la industria son los de tipo toriesférico, por su bajo coste, gran expansión comercial en la industria y por su aceptación a un gran rango de presiones debido a su geometría. Como se muestra en la **figura M6.9** existe gran variedad de este accesorio, aunque por aplicación heurística y por sus ventajas técnico económicas se seleccionan los de tipo toriesférico tanto para cabeza como para fondo de columna.

**Figura M6.9. Tipos de fondos de columna.**



Una vez seleccionado la geometría toriesférica, existen dos subcategorías (las más usadas) que son los Klopper y Korbbogen.

Por norma general los más usados son los fondos toriesféricos Klopper, siempre y cuando no se dé alguna de estas condiciones, que limitarían el uso a los de tipo Korbbogen:

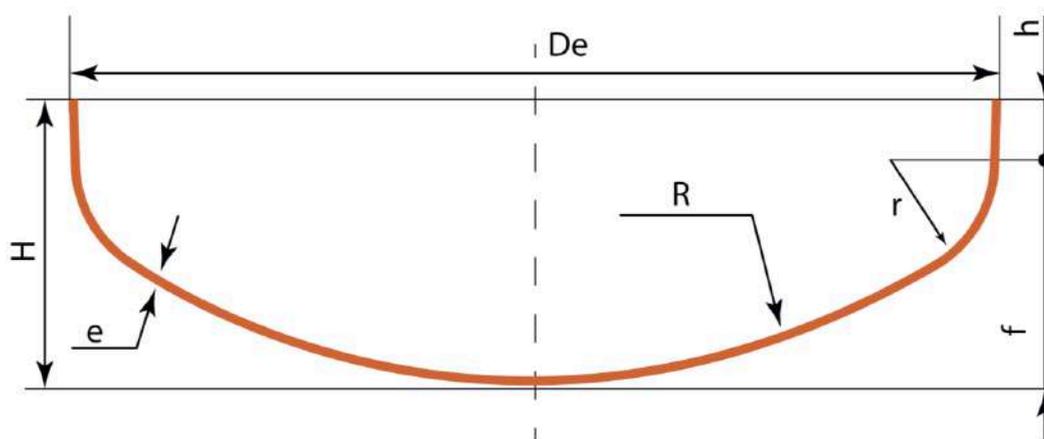
- Presión de diseño igual o superior a  $7 \text{ kg/cm}^2$ .
- Temperatura de diseño igual o superior a  $350^\circ\text{C}$ .
- Recipientes verticales con relación  $H/D > 10$  (solo para fondos).

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Como en este proyecto se trabaja con una presión de diseño superior a la indicada, se hará uso de fondos toriesféricos de tipo Korbogen. Más específicamente, se seleccionan fondos F-4 de la empresa Foncalp, S.L, de tipo 80-15 (Radio de la corona es igual al 80% del diámetro externo y radio del codillo es igual al 15% del diámetro externo). Los parámetros que definen su geometría se muestran en la **Figura M6.10**.

Las características necesarias de los fondos para adaptarse a las necesidades de diámetro de la columna ya diseñada se detallan en el Anexo II de cálculo. Los detalles de diseño obtenidos para el cabezal y el fondo de columna se detallan en la **Tabla M6.1**:

**Figura M6.10. Variables geométricas de un fondo Korbogen.**



Donde:

$D_e$ : Diámetro externo (m)

$H$ : Altura total del accesorio (m)

$e$ : Espesor del accesorio (m)

$R$ : Radio de la corona (m)

$r$ : Radio del codillo (m)

$h$ : Altura de la faldilla/plano de pestaña (m)

**Tabla M6.1. Especificaciones de diseño de los fondos Korbogen.**

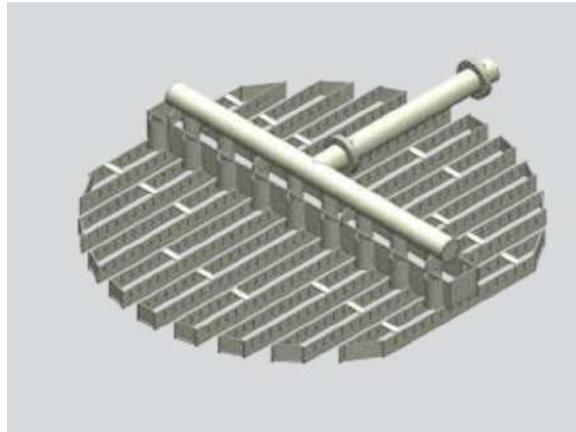
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>D<sub>e</sub></b>	<b>0,867 m</b>
<b>e</b>	<b>7,5 mm</b>
<b>R</b>	<b>0,693 m</b>
<b>r</b>	<b>0,13 m</b>
<b>h</b>	<b>25 mm</b>
<b>H</b>	<b>0,253 m</b>

- Temperatura de diseño: Se calculará dando un margen de 20°C respecto a la temperatura máxima de operación, a la que también hay que concederle un margen, ya que por factores ambientales o de proceso la temperatura máxima de operación puede ser mas alta en otras ocasiones. Se obtiene:  $T_{\text{diseño}}=68^{\circ}\text{C}$

- Accesorios de la columna: Para el diseño final de la columna es necesario considerar y seleccionar también los accesorios necesarios para el funcionamiento de la columna. En esta columna, compuesta por dos lechos de relleno, se deben instalar:

→**Distribuidores de líquido**: Necesarios para que el liquido sea bien repartido por toda la superficie al inicio de cada lecho de relleno. También es importante que esta distribución no se haga en un tamaño de partícula demasiado pequeño (pulverización), ya que eso generaría mucho arrastre de líquido por parte del gas. Heurísticamente se establece que se necesitan 5 puntos de distribución de líquido por cada 0,1m<sup>2</sup> de superficie, por lo que se necesitarán un distribuidor de al menos 25 puntos de distribución para la parte superior de la columna, y un redistribuidor interfacial para la zona intermedia donde empieza el segundo lecho de relleno. Para la parte superior se selecciona el distribuidor “GEA 2H liquid distributor TDP 410” del fabricante Enxio:

**Figura M6.11. Distribuidor de líquido TDP 410 de Enxio.**



Para la parte intermedia, se selecciona un redistribuidor cuya función será la de recoger el flujo de líquido del lecho superior, y volver a distribuirlo de forma uniforme por toda la superficie a la entrada del segundo lecho de relleno. Se selecciona el model “TCI DN1000” del fabricante TCI:

**Figura M6.12. TCI DN1000 de TCI**



→**Distribuidor de gas:** Al igual que es importante un buen reparto del líquido en toda la superficie de la columna, hay que distribuir el gas a su entrada también de forma uniforme para aumentar el contacto entre ambas fases y eliminar zonas sin contacto en el interior de la columna. Se selecciona un modelo estándar de la empresa RVT Process Equipment GmbH (**Figura M6.13**):

**Figura M6.13. Distribuidor de gas de RVT PE.**



→**Rejas de sujeción del relleno:** El relleno deberá estar solo en la parte cilíndrica de la columna, se deben dejar el fondo inferior y la cubierta superior toriesféricos libres de relleno, para situar las entradas y salidas de las corrientes. Para formar los lechos de relleno (**2 lechos de 3,83m cada uno**), se necesitarán 2 rejas de sujeción. Las rejas deben tener una geometría que limite al mínimo posible el paso de las corrientes a su través, y un tamaño de apertura que como mínimo retenga el relleno y no pueda atravesar las aperturas. Se seleccionan dos lechos de relleno idénticos para ambos lechos, un modelo estándar de RVT Process Equipment GmbH (**Figura M6.14**):

**Figura M6.14. Reja de sujeción del relleno.**



→**Eliminador de niebla:** Dado que la velocidad del gas va a ser relativamente elevada dentro de la columna, se seleccionará un eliminador de niebla para eliminar los posibles arrastres de líquido por parte del gas. La importancia de este accesorio es elevada, pues la posibilidad de que el biogás contenga dietanolamina en una cantidad apreciable podría dar problemas a su posterior valorización. Se selecciona un eliminador de niebla modelo “Stainless Steel 304 Mist eliminator” de la empresa Anping Hualai Metal Wire (**Figura M6.15**):

**Figura M6.15. Eliminador de niebla.**



#### 6.1.6 RESULTADO FINAL DE LA COLUMNA DE ABSORCIÓN.

Por último ,para finalizar el apartado de la columna de absorción, se procede a resumir de una manera concisa las características principales que deberá tener la columna y todos sus accesorios. En este apartado solo se expondrá de manera esquemática los resultados obtenidos, pues su obtención y selección ya ha quedado detallada tanto en el apartado 6.1 de la memoria descriptiva como en los Anexos I y II de este mismo proyecto. Asignaremos a la columna en este proyecto el nombre “CA-1”.

**Tabla M6.2. Resultados finales de la columna de absorción.**

<b>SECCIÓN CILÍNDRICA COLUMNA CA-1</b>	
<b>DIÁMETRO INTERNO</b>	0,8502m
<b>ESPESOR ENVOLVENTE</b>	7,5 mm
<b>DIÁMETRO EXTERNO</b>	0,8652 m
<b>SUPERFICIE TRANSVERSAL</b>	0,5678m <sup>2</sup>
<b>ALTURA DE RELLENO</b>	7,674m
<b>ALTURA DE LECHOS DE RELLENO</b>	2 x 3,837m
<b>DISTANCIA ENTRE LECHOS</b>	15cm
<b>PRESIÓN DE DISEÑO</b>	2,054 bar
<b>TEMPERATURA DE DISEÑO</b>	68°C
<b>ACCESORIOS CA-1</b>	
<b>ALTURA TDP 410</b>	15cm
<b>ALTURA TCI DN1000</b>	17cm
<b>ALTURA DIST.GAS RVT</b>	12cm
<b>ALTURA REJA ESTÁNDAR RVT</b>	2 x 5cm
<b>ALTURA SS 304 MIST ELIMINATOR</b>	8cm
<b>ALTURA FONDOS KORBBOGEN</b>	2 x 0,253m
<b>RELLENO</b>	Anillo Pall de polipropileno 15,9 mm
<b>ALTURA TOTAL CA-1</b>	
8,68m	
<b>CONEXIONES CA-1</b>	
1 conexión de 100 mm de diámetro para la salida del gas por la parte superior	
1 conexión de 100 mm de diámetro para la entrada del gas por la parte inferior	
1 conexión de 15 mm diámetro para la entrada del líquido por la parte superior	
1 conexión de 15 mm de diámetro para la salida del líquido por la parte inferior	
<b>CONSIDERACIONES DE LAS CONEXIONES</b>	
La conexión de salida de fluido por la parte inferior irá situada en el centro de la elipse del fondo Korbboogen, la soldadura con la tubería será por puntos.	
La conexión de salida de fluido por la parte superior irá situada en el centro de la elipse del fondo Korbboogen, la soldadura con la tubería será por puntos.	
La conexión de entrada de fluido por la parte inferior irá situada en la elipse del fondo Korbboogen, a 5mm del inicio de la faldilla de este. La soldadura de la tubería será por puntos.	
La conexión de entrada de fluido por la parte superior irá situada en la elipse del fondo Korbboogen, a 5mm del inicio de la faldilla de este. La soldadura con la tubería será por puntos.	
<b>ELEMENTOS DE SEGURIDAD</b>	
Se instalará en la parte intermedia de la sección cilíndrica un disco de ruptura. El elemento se denomina DR-1, tendrá un diámetro de 100 mm, y el espesor del elemento DR-1 será la mitad que de la envolvente. $E_{DR-1}=3,75\text{mm}$ .	

## 6.2 ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

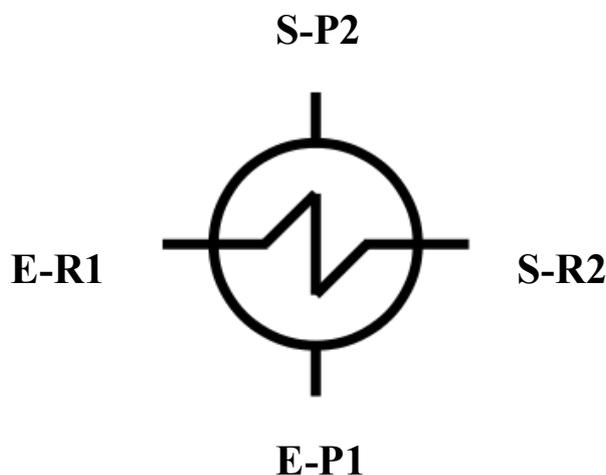
### 6.2.1 INTRODUCCIÓN

El siguiente paso en la realización del proyecto consiste en el diseño de un intercambiador de calor para la adecuación de las temperaturas de las corrientes de amina.

El intercambiador a diseñar se pretende que aproveche la propia energía de las corrientes de amina para calentarse/enfriarse entre ellas y que no haya necesidad de aportar energía de manera externa mediante vapor, ni ningún refrigerante externo al sistema.

Es decir, se buscará diseñar un intercambiador de calor amina-amina. El esquema que seguirán las corrientes en el intercambiador se muestran en la **figura M6.16**:

**Figura M6.16. Esquema del intercambiador amina-amina.**



Donde:

E-R1: Corriente de amina rica que sale del absorbedor (Relativamente fría).

E-P1: Corriente de amina pobre que viene del regenerador (Relativamente caliente).

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

S-R2: Corriente de amina rica que entra al regenerador (Relativamente caliente).

S-P2: Corriente de amina pobre que entra al absorbedor (Relativamente fría).

En el intercambiador se considerará como corriente fría la que sale del absorbedor y se dirige hacia la columna de regeneración. Esta corriente deberá aumentar su temperatura para reducir la cantidad de energía necesaria en el calderín de la columna de regeneración.

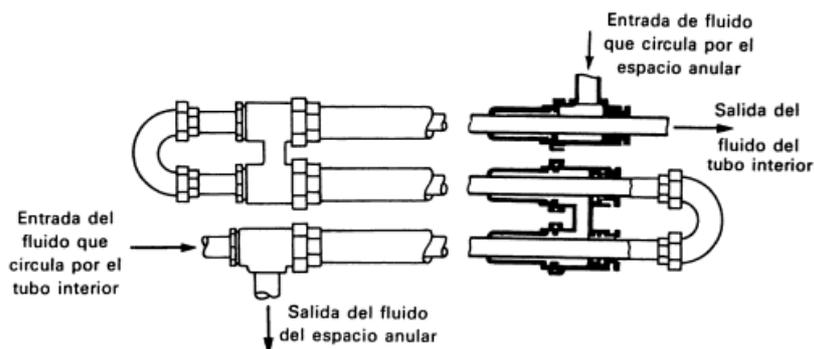
La corriente caliente es la que proviene de la columna de regeneración y va a introducirse de nuevo a la columna de absorción. Esta corriente debe entrar a la temperatura para la que ha sido diseñada la columna, además de que una temperatura excesiva podría provocar evaporaciones de disolvente y reducir la absorción.

### 6.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR

Se exponen a continuación los tipos de intercambiadores de calor mas usados industrialmente, en base a estos, se realizará de la forma más acertada posible la elección de un tipo para realizar su diseño para el proceso actual.

→INTERCAMBIADOR DE CALOR DE DOBLE TUBO: Este tipo de intercambiador consiste en dos tubos concéntricos, en los que un fluido circula por el tubo interior, y el otro circula por el espacio anular entre el tubo interior y el exterior. Intercambian calor a través de la pared del tubo interior, y pueden funcionar en paralelo o en contracorriente.

**Figura M6.17. IC de doble tubo.**



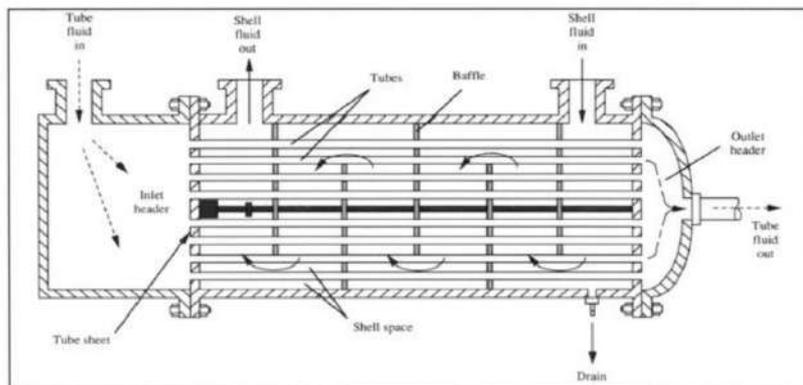
## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

**VENTAJAS:** Destaca la facilidad de desmontaje que ofrecen, por tratarse de equipos modulares. Además, en contracorriente ofrecen grandes rendimientos de transferencia de calor.

**DESVENTAJAS:** La posibilidad de fugas por los numerosos empalmes y las grandes necesidades de espacio necesarias si la transferencia que se ha de realizar requiere de grandes áreas de transferencia son sus inconvenientes más acusados.

→INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBO: Están compuestos por una carcasa (normalmente cilíndrica) en cuyo interior se disponen de forma paralela al eje de la propia carcasa tubos de pequeño diámetro. Uno de los fluidos circula por el interior de los tubos, y el otro por el interior de la carcasa, mojando los tubos y produciéndose la transferencia de calor a través de los tubos interiores. Es muy habitual la colocación de placas por el interior de la carcasa que obliguen al fluido exterior a tener un flujo perpendicular a los tubos interiores, lo que mejora la transmisión de calor.

**Figura M6.18. IC de carcasa y tubo.**



Son los más usados en industria química por las grandes ventajas que proporcionan.

**VENTAJAS:** Permiten fluidos con cambio de fase, proporcionan un gran área de transmisión de calor, son fáciles de limpiar y el mantenimiento es sencillo.

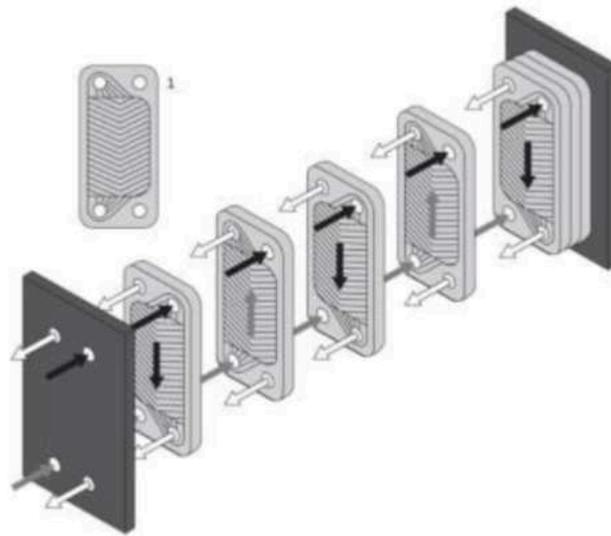
**DESVENTAJAS:** Ocupan un tamaño relativamente alto, y no son adecuados para caudales pequeños de fluido.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Existen diferentes diseños en función del número de pasos de la carcasa y de los tubos. Su diseño sigue la nomenclatura m-n. Donde “m” es el número de pasos que sigue el fluido en la carcasa y “n” es el número de pasos que sigue el fluido en el interior de los tubos. Puede operar en rangos de presiones hasta 300 bares para el lado de la carcasa y 1400 bares para el lado de los tubos y soportan temperaturas entre los -200°C y los 600°C.

→INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACA: Se sustituyen los tubos por finas placas con ciertas rugosidades. Se montan diversas placas unas contra otras, dentro de un bastidor. Ofrecen grandes transferencias de calor, pero por el contrario son equipos que limitan mucho el caudal de líquido y el tipo de fluido. Además, son equipos muy caros.

**Figura M6.19. IC de placas.**



→AEROREFRIGERADORES: Por último, habría que considerar los intercambiadores que usan aire como fluido refrigerante, impulsado por ventiladores o compresores. Resultan una opción relativamente sencilla y barata, aunque si se dispone de dos fluidos de proceso que pueden combinarse para reutilizar sus energías, este tipo de IC resultaría en conjunto más costoso.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

En definitiva, resumidos los modelos industriales más usados en transferencia de calor, hay que realizar una elección para el proceso en estudio teniendo en cuenta:

- Gasto total de inversión en el equipo.
- Consumo de energía que provocará el equipo una vez instalado.
- Opción de soportar las corrientes de amina con las que se trabaja.
- Capacidad e limpieza y mantenimiento buenos, para no provocar mas gastos posteriores a la instalación del equipo.

En primer lugar para el análisis de la elección tomada, es importante remarcar que se dispone de dos corrientes de amina a distintas temperaturas, las cuales combinándolas en un mismo intercambiador pueden intercambiar energía en forma de calor para quedar cada una a una temperatura adecuada para su proceso de destino. Este primer análisis permite descartar los aerorefrigeradores.

En segundo lugar, se busca un proceso óptimo entre coste del equipo y su adaptabilidad al sistema en estudio. Dado esto, se puede descartar el IC de placas por su elevado coste.

En último lugar, para intentar conseguir un volumen total del intercambiador menor, y unos gastos por limpieza y mantenimiento menores tras la instalación, se opta por un Intercambiador de Calor de Carcasa y Tubo, descartando así también el IC de doble tubo.

La elección responde a todos los análisis cualitativos hechos, pensando en una mejor opción para el proceso

### 6.2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBO

Una vez seleccionado el tipo de intercambiador a utilizar, hay que detallar y seleccionar ciertas características que afectan a su diseño y funcionamiento.

El intercambiador de calor a diseñar será de flujo cruzado, en el que los fluidos tendrán una configuración perpendicular entre si. Este flujo se conseguirá interponiendo aletas

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

en el lado de la carcasa, que obligarán al fluido a tomar ciertas direcciones dentro de la propia carcasa.

### 6.2.3.1 Tipo de recuperador

Dentro del propio tipo de carcasa y tubo, existen varios subtipos dependiendo de la configuración del intercambiador:

1. Recuperador de placa de tubos fija.
2. Recuperador de tubos en U.
3. Recuperador con cabezal flotante interno.
4. Recuperador con cabezal flotante externo.

Para el diseño de este intercambiador de calor se opta por un recuperador de placa de tubos fija. Es la opción más económica de todas y con el montaje más sencillo. Sus desventajas serían la complicación que supone su limpieza y las limitaciones en cuanto a intervalo de temperaturas que soporta, dado que al estar la placa fija en la coraza la expansión de los materiales podría provocar rotura. Como las corrientes de amina no van a tener unas diferencias de temperaturas de mas de 80°C y los fluidos no son extremadamente viscosos ni manchan en exceso, se considera una buena opción.

### 6.2.3.2 Normas para el diseño del recuperador.

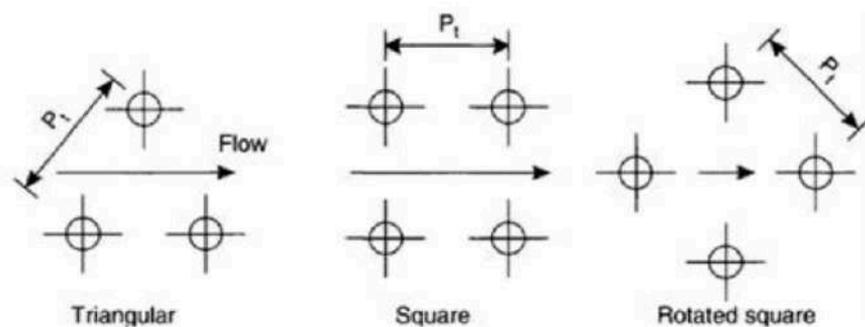
Existen muchas normas que podrían aplicarse al diseño de un intercambiador de calor de este tipo, pero sin duda las normas TEMA (*Tubular Exchangers Manufacturers Association Inc.*) son las mas utilizadas en este tipo de equipos. Por ello, en el diseño de este equipo en este proyecto se tomarán como referencia las normas TEMA.

- TUBOS: El diámetro exterior de los tubos varía por norma entre 6,35mm y 63,5mm, aunque los comprendidos entre 19mm y 25mm son los más utilizados ya que permiten construir recuperadores mas compactos y por tanto más económicos. Se recomienda como un valor nominal adecuado para un primer cálculo un  $D_o=3/4''=19,05\text{mm}$ . En cuanto al espesor,  $e_t=0,89\text{mm}$  sería un valor adecuado para el tipo de fluidos que vamos a tratar. En cuanto a la longitud de

los tubos, la más utilizada por norma es  $L_t=20$  pies=6,10m, y como es habitual, el uso de longitudes y diámetros nominales o de uso mas habitual puede ayudar a obtener mas tarde un coste total del equipo menor, dada su mayor expansión comercial.

Como se muestra en la **Figura M6.20** existen distintas configuraciones posibles de los tubos dentro de la coraza:

**Figura M6.20. Distribuciones tubulares.**

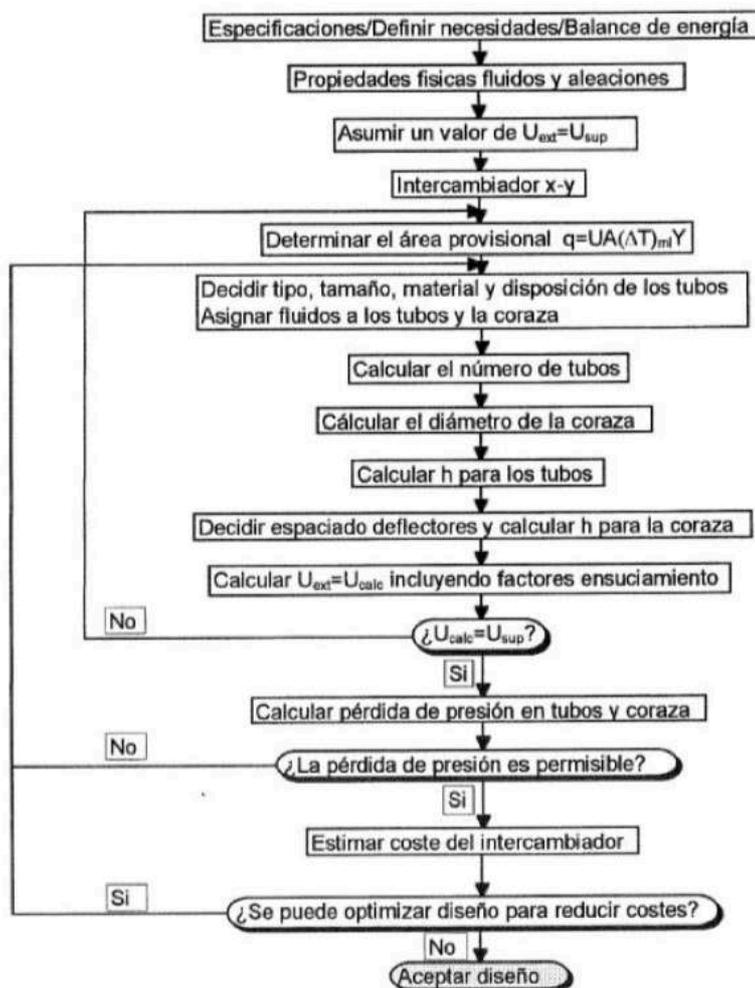


Siendo las disposiciones triangular y cuadrada girada las que ofrecen mayores velocidades de transmisión de calor, aunque con mayor pérdida de presión. Y siendo la disposición cuadrada la mas adecuada para fluidos con gran capacidad de ensuciamiento. Se opta por una disposición cuadrada.

- **CORAZA**: Los diámetros habituales oscilan entre 150mm y 1520mm, usándose en su construcción tubo estándar cuando el diámetro no supera los 610mm, y teniendo que construirse con placas de acero la coraza cuando se superan los 610mm.
- **DEFLECTORES**: Debe seleccionarse el tipo de corte, bien sea horizontal, vertical o doblemente seccionado. Para este equipo se seleccionan deflectores de corte horizontal y sin doble seccionamiento.
- **ITERACIÓN DEL DISEÑO**: Para el diseño del intercambiador se va a seguir el esquema iterativo mostrado en la **figura M6.21**, que consiste básicamente en

suponer un coeficiente global de intercambio de calor  $U$  y en base a el obtener un área preliminar. El proceso se repetirá tantas veces como sea necesario hasta obtener un coeficiente global similar al supuesto inicialmente. Este método es el usado en el Anexo III de este mismo proyecto en el proceso de diseño.

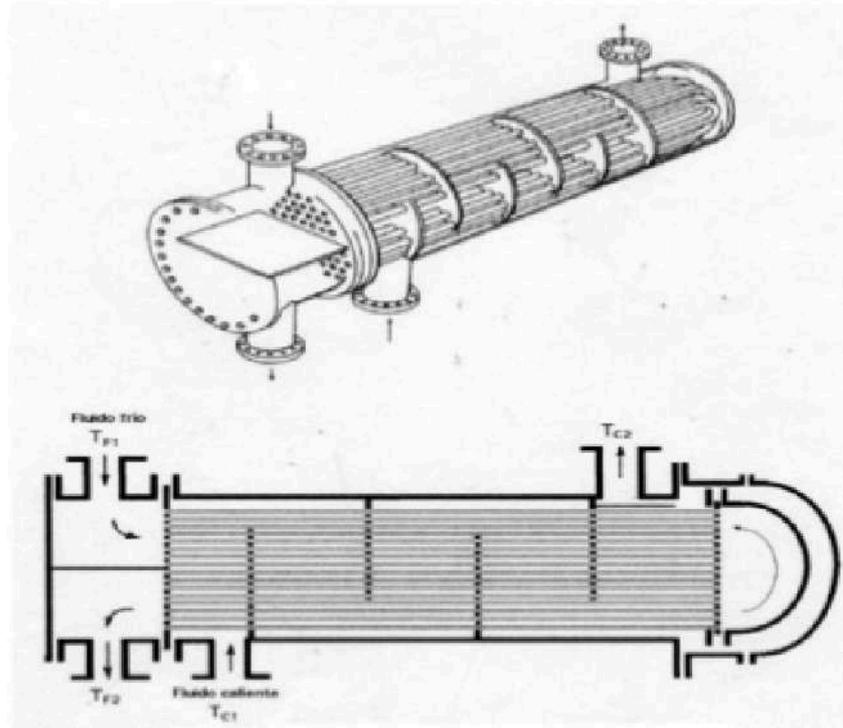
Figura M6.21. Proceso iterativo de diseño de un intercambiador.



#### 6.2.4 RESULTADOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

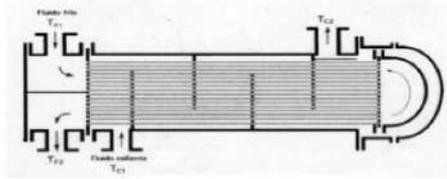
El intercambiador de calor diseñado tendrá una estructura similar a la mostrada en la figura M6.22:

**Figura M6.22. Estructura del intercambiador de calor 1-2.**



Es decir, como se ha detallado en el análisis, será un intercambiador 1-2, de 1 paso en la coraza y 2 en los tubos, con deflectores con corte horizontal, disposición cuadrada de los tubos y placa de tubos fija. Todos los detalles de intercambiador diseñado (que tendrá un nombre IC-AA) se muestran en la **tabla M6.3**:

**Tabla M6.3. Especificaciones técnicas del IC-AA.**

<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR IC-AA</b>	
<b>Tipo de intercambiador</b>	Intercambiador de calor de carcasa y tubos
$U_{sup}$	800 W/m <sup>2</sup> ·K
$U_{calc}$	671,59 W/m <sup>2</sup> ·K
$h_{tubos}$	1380 W/m <sup>2</sup> ·K
$h_{coraza}$	1500 W/m <sup>2</sup> ·K
<b>Flujo de calor (q)</b>	9,49 kW
<b>A</b>	35,46 m <sup>2</sup>
$L_{intercambio}$	3,05 m
$L_{distribuidor}$	50 cm
$L_{cambiapaso}$	40 cm
$L_{intercambiador}$	3,95 m
<b>Disminución de temperatura conseguida</b>	-31°C
<b>Nº de pasos en los tubos</b>	2
<b>Nº de pasos en la coraza</b>	1
<b>Esquema del intercambiador</b>	
<b>TUBOS-CORAZA-ACCESORIOS</b>	
<b>Nº de tubos</b>	195 tubos
$L_{tubos}$	3,05 m
$D_{ot}$	19,05 mm
$D_{it}$	17,27 mm
$e_t$	0,89 mm
<b>Material tubos</b>	Acero estándar
$D_h$	0,428 m
$D_{ic}$	0,44 m
$e_{coraza}$	9,5 mm
<b>Material coraza</b>	Acero estándar
<b>Deflectores</b>	$D_d=438,4$ mm
	$H_d=100,8$ mm
	$l_d=0,22$ m
	$N_{deflectores}=13$ deflectores
<b>Cambiapaso</b>	Fondo semielíptico de diámetro igual al del haz de tubos
<b>Separador fluido parte tubos</b>	Plancha de acero de 50x44 cm soldada a la coraza a mitad del diámetro vertical del haz de tubos.

### 6.2.5 INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPLEMENTARIO

Además, como se ha detallado en el Anexo III, durante el diseño del intercambiador se apreció la incapacidad real de este para conseguir directamente los requerimientos de temperatura de la corriente de salida solo usando las corrientes de amina de proceso existentes.

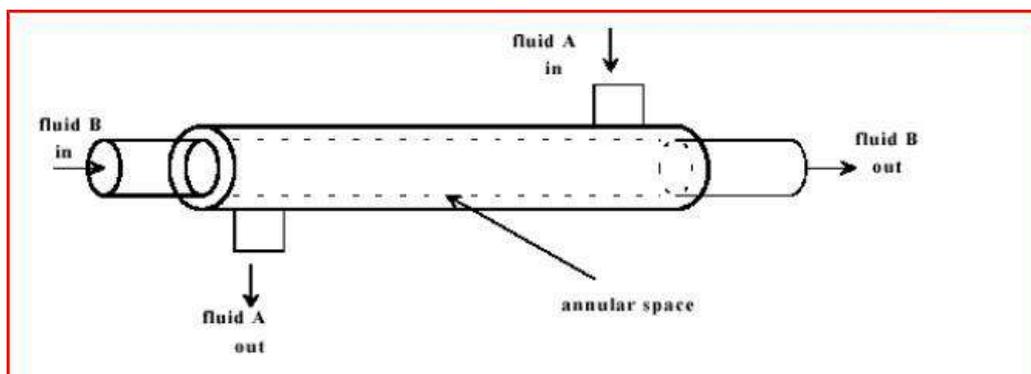
El análisis que puede hacerse de esto, es que aun haciendo falta un segundo intercambiador complementario (el cual va a tener unas dimensiones y requerimientos mucho menores) el diseño del primero sigue siendo válido, pues no deja de suponer un equipo de recuperación de energía que ya permite bajar la temperatura de la corriente que sale del regenerador casi 30°C sin el uso de agua o refrigerantes externos.

El intercambiador complementario va a diseñarse optando por una estructura mucho mas sencilla que el anterior, lo que permitirá reducir costes y requerimientos de espacio. Se opta por un **intercambiador de calor de doble tubo o tubos concéntricos**.

Este tipo de intercambiadores tienen la ventaja de tener un coste total bastante mas bajo que el resto de intercambiadores, que suponen un diseño mas complejo.

Como se requiere una reducción de temperatura pequeña, de tan solo 8°C, es una buena opción que servirá como complemento al primer intercambiador diseñado, aunque en este caso se usará agua como fluido refrigerante.

**Figura M6.23. Intercambiador de tubos concéntricos general.**



Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Todos los cálculos de diseño del intercambiador complementario (que tendrá un nombre ICC) quedan detallados en el Anexo III de este mismo proyecto. En la **tabla M6.4** se detallan todas las características técnicas y de diseño del intercambiador ICC.

Como se detalla en el Anexo III, para el diseño de este segundo intercambiador solo se realizan los cálculos necesarios para obtener un área preliminar, para poder hacer una estimación económica del coste del intercambiador, ya que se recurre a un modelo comercial.

**Tabla M6.4. Especificaciones técnicas del ICC.**

INTERCAMBIADOR DE CALOR ICC	
<b>Tipo de intercambiador</b>	Intercambiador de calor de doble tubo o tubos concéntricos.
<b>Régimen de circulación</b>	En contracorriente
$U_{sup}$	600 W/m <sup>2</sup> ·K
<b>Flujo de calor (q)</b>	2,67 kW
<b>A</b>	0,36 m <sup>2</sup>
$L_{intercambio}$	1,146 m
$L_{intercambiador}$ (aprox)	1,30 m
<b>Esquema del intercambiador</b>	

### 6.2.6 SIMULACIÓN POR SOFTWARE DE LOS INTERCAMBIADORES

En este apartado se pretende que mediante el uso del programa informático de simulación y análisis de procesos en estado estacionario “ProSim Plus 3”, se obtenga

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

una confirmación de que el diseño de los intercambiadores es el correcto. Dado que los equipos serán fabricados por una empresa externa, conviene optimizar o ajustar lo máximo posible el diseño del equipo, ya que un mal diseño puede provocar grandes diferencias en el precio, así como deficiencias en el funcionamiento una vez instalados.

En concreto, se abordará el diseño del intercambiador de calor complementario (ICC), ya que su diseño ha sido realizado de forma mucho más ajustada, y se pretenderá así ajustar el área que se considerará necesaria para conseguir los requerimientos deseados en el intercambiador.

En primer lugar, se empieza la simulación seleccionando los compuestos a utilizar en ella, así como la determinación del modelo termodinámico que se usará en los cálculos iterativos del diseño.

Los compuestos seleccionados son:

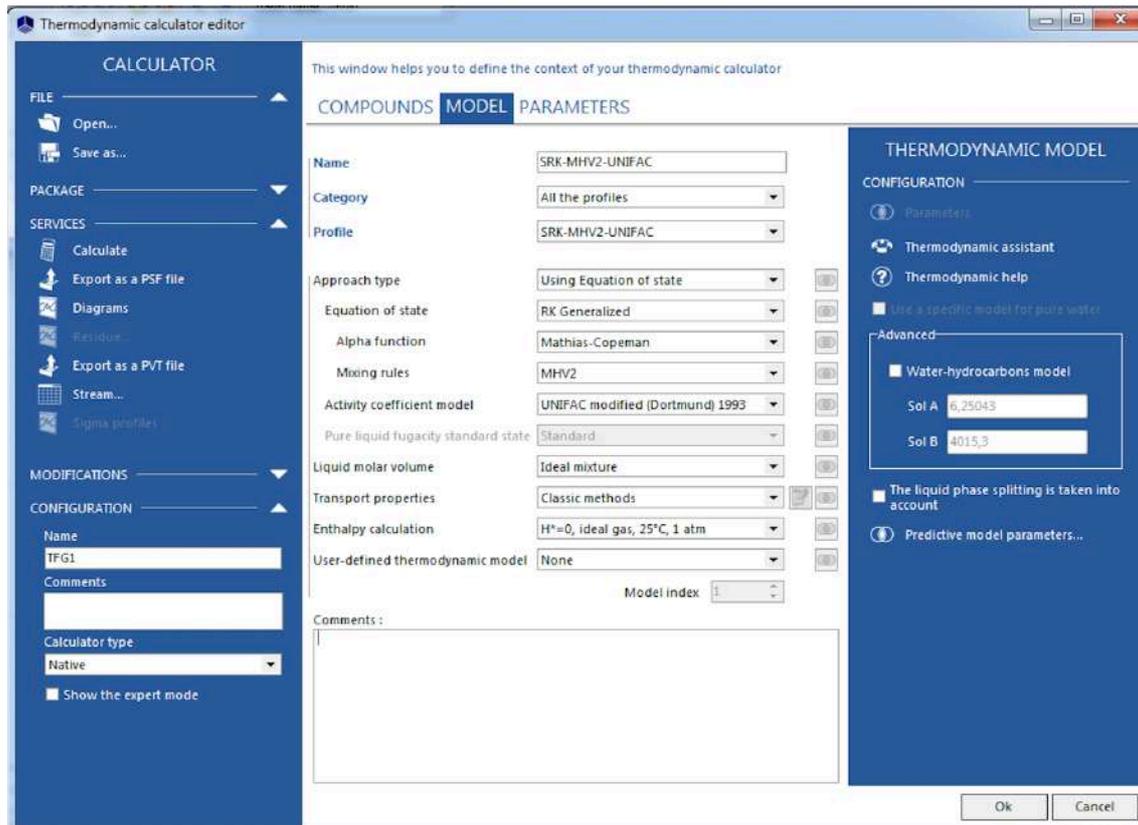
- Agua (Versión 2017).
- Dietanolamina (Versión 2017).

El modelo termodinámico seleccionado es:

- Runge Kutta generalizado.
- Para los coeficientes de actividad se utilizará UNIFAC modificada.

En la **figura M6.24** se muestra la selección del modelo termodinámico.

**Figura M6.24. Modelo termodinámico.**

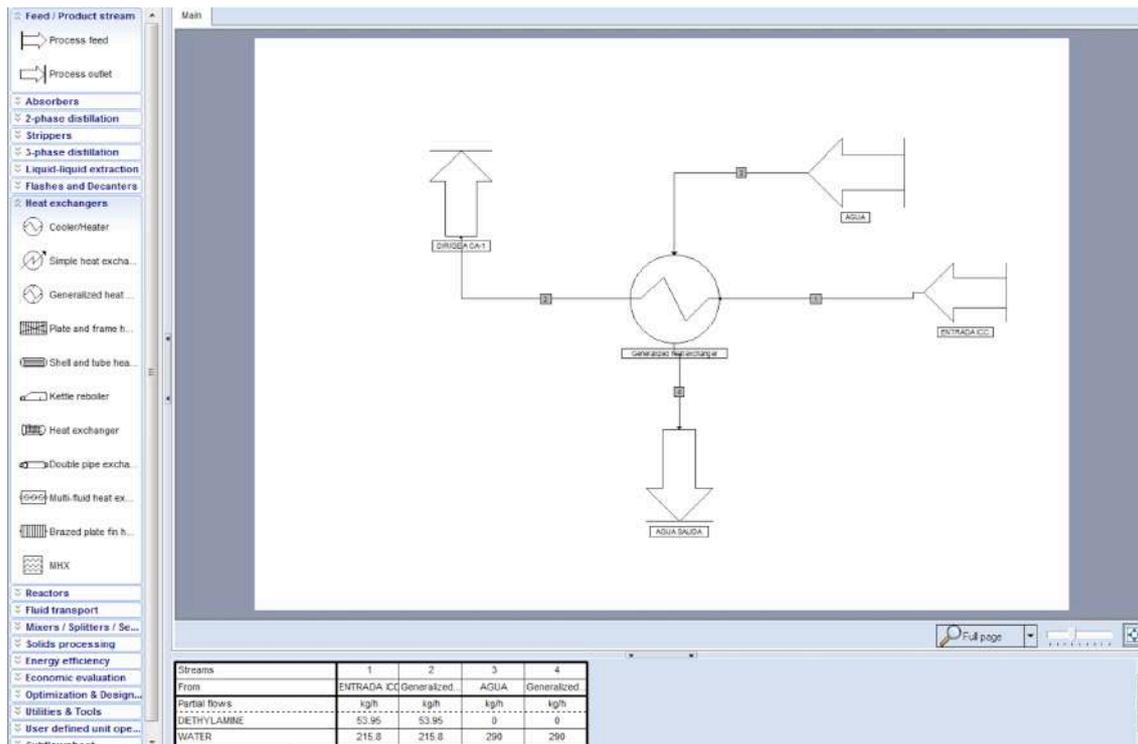


Tras la selección de los compuestos y del modelo termodinámico, se construye el diagrama de flujo. Los componentes a incluir en el diagrama son:

- 1 entrada de componente. Representa la corriente que proviene del intercambiador de calor principal.
- 1 entrada de componente. Compuesta solo por agua pura, utilizada para refrigerar la otra corriente.
- 1 intercambiador de calor generalizado en contracorriente, con cálculo de área.
- 2 salidas de componente, utilizadas para representar el flujo completo de los componentes en el sistema.

En la **Figura M6.25** se muestra la construcción del diagrama de flujo para la simulación.

**Figura M6.25. Diagrama de flujo.**



Se realiza la simulación sin errores de forma en la construcción o en el detalle de las características. Se exige que la corriente de salida de solución de amina salga a 30°C que es el requerimiento para la columna CA-1.

La solución obtenida en la simulación se muestra en la **Figura M6.26:**

**Figura M6.26. Resultado de la simulación.**

EXCHANGER SPECIFICATIONS WITHOUT CONSIDERING PHASE CHANGES :

QE : HEAT EXCHANGER DUTY  
 AREA : HEAT EXCHANGE AREA  
 $U_c$  : CLEAN OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT  
 U : DIRTY OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT  
 LMTD : LOGARITHMIC MEAN TEMPERATURE DIFFERENCE  
 EFF : EFFICIENCY WITH RESPECT TO A PURE COUNTER CURRENT (ADIM)

QE (KCAL/HR)	AREA (M2)	$U_c$ (W/M2/K)	U (W/M2/K)	U*A (KCAL/HR/K)	LMTD (C)	EFF
2896.70	0.209335	1000.00	1000.00	180.116	16.0825	1.00

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Se obtiene un requerimiento de área de  $0,21 \text{ m}^2$ , y un coeficiente global de transmisión de calor de  $1000 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Lo más adecuado sería considerar un valor medio de área entre el resultado obtenido analíticamente y el obtenido en la simulación, para afinar así el diseño.

El reporte completo obtenido en la simulación se adjunta como anexo en el documento básico “Anexos” de este mismo proyecto.

### 6.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REGENERACIÓN DE LA AMINA

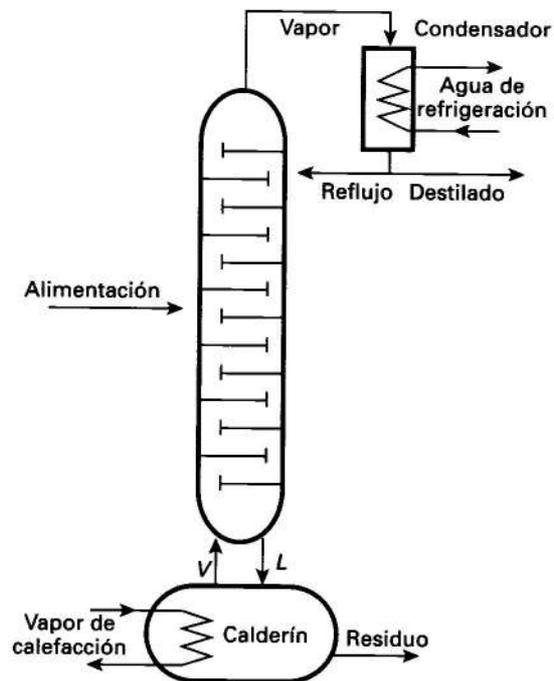
Una vez la amina sale de la columna de absorción se debe regenerar para extraerle el gas ácido y volver a recircularla al sistema de absorción.

El gas ácido será quemado en la antorcha para eliminarlo definitivamente o en caso de tener posibilidad, se derivará a plantas con unidades de recuperación de azufre para valorizarlo.

La regeneración de la amina consiste en elevar la temperatura de la disolución para que se lleve a cabo el proceso de desorción. El control de la temperatura es importante, pues un aporte de temperatura bajo supondrá una mala desorción del gas ácido, y una temperatura excesivamente alta podría suponer la degradación de la disolución de amina.

La regeneración de amina se hace habitualmente en columnas, bien de relleno o de platos, con un calderín inferior al cual se aporta vapor muy caliente, produciendo la vaporización de sulfhídrico absorbido y creando un contacto múltiple dentro de la columna. El gas ácido saldrá por cabeza de columna, donde deberá haber un condensador parcial que condense los restos de disolución existentes en el gas y los recircule a la columna. En la **figura M6.27** se muestra un esquema de lo que debería ser la columna de regeneración.

**Figura M6.27. Esquema de la columna de regeneración.**



El gas ácido una vez salga de la columna, podrá quemarse para cumplir la legislación, o intentar valorizarlo de alguna manera.

Muy próxima a la EDAR en estudio, se encuentra la refinería BP del Grao de Castellón, la cual dispone de una unidad de recuperación de azufre. Sería interesante valorar la posibilidad de valorizar el gas tratándolo en la refinería para obtener un producto con cierto valor económico.

El hecho de que este equipo no suponga un análisis tan exhaustivo es sencillo de explicar. En primer lugar, por el alcance que supone el proyecto y su objetivo final, se considera a este equipo como un equipo auxiliar, el cual se tiene en cuenta por su clara importancia para el funcionamiento global del proceso, pero en un segundo plano con respecto a la columna de relleno principal.

Además, el hecho de que para la regeneración de la amina existan tan pocas opciones ya estudiadas, que se resumen en la columna de relleno o en la columna de platos, las

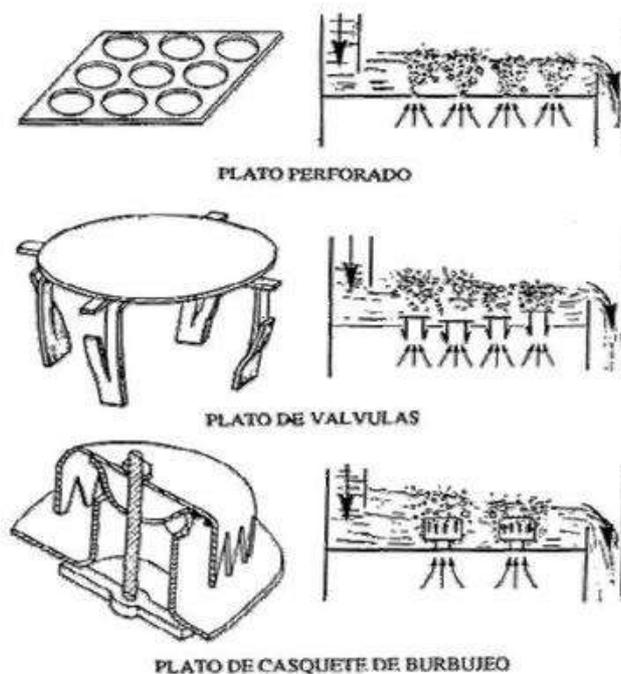
## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

cuales son opciones ya analizadas en apartados anteriores, hace que directamente la decisión sea mucho más directa y sencilla.

La selección de la columna de platos se ha realizado dado que para este tipo de procesos de desorción, suelen ser mas recomendables por el favorecimiento del equilibrio líquido-vapor que proporcionan.

Una vez seleccionado el tipo de columna, se deberá seleccionar el tipo de plato de esta. En la **figura M6.28** se muestran los distintos tipos de platos:

**Figura M6.28. Platos de absorción.**



Dado que el proceso de desorción estará fuertemente controlado por la temperatura, ya que se trata de una desorción térmica, se considerará que el nivel de contacto entre ambas fases no es tan importante en este caso.

El plato perforado es el más económico, pero también el que proporciona un peor contacto entre la fase gas y líquido, pero expuestas las razones, se considera una buena opción para este equipo.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Una vez seleccionado el tipo de columna y el tipo de platos, se recurrirá a un fabricante externo al que se le proporcionarán los datos necesarios para la construcción de la columna. En el Anexo V de este proyecto se detallan mas datos y características sobre este equipo.

## 6.4 ANALISIS DEL SISTEMA DE TUBERIAS

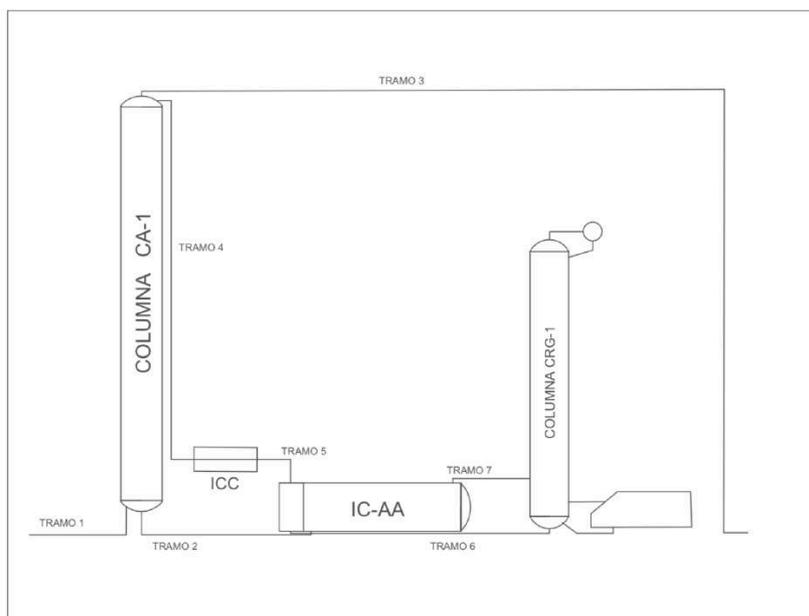
En este apartado se analizarán y seleccionarán todas las conducciones necesarias para el sistema en estudio, las cuales interconectarán todos los equipos entre si para el correcto flujo de los fluidos por la instalación. Además, se analizará si fuese necesaria la necesidad de sistemas de impulsión para los fluidos (compresores o bombas).

### 6.4.1 ANÁLISIS INDIVIDUAL DE LOS TRAMOS

Se dividirá el total de conducciones en tramos, en los que se detallarán los tramos rectos necesarios, así como los posibles accidentes que puedan tener los tramos, como codos, embocaduras, válvulas, aperturas...

En la **Figura M6.29** se muestra un esquema general de todo el sistema de conducciones que se deberán analizar en la instalación.

**Figura M6.29. Esquema de las conducciones de la instalación.**

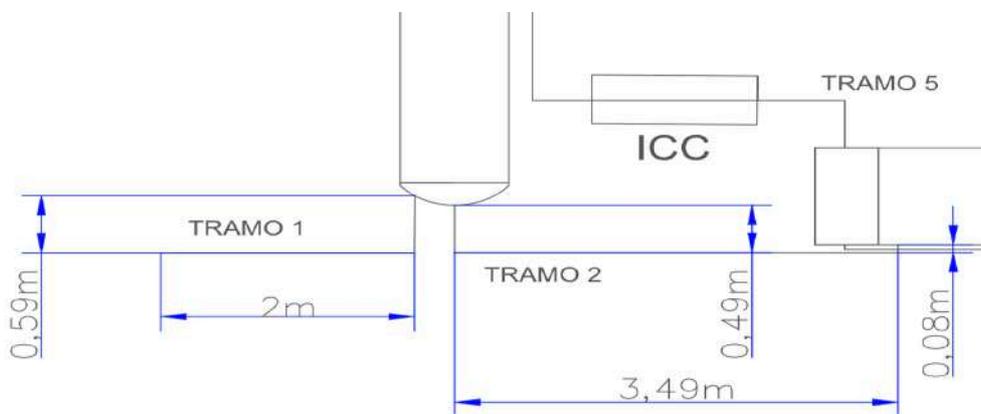


## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Se tienen un total de 7 tramos de tuberías, divididos en secciones con tramos rectos y accidentes, que conectarán todos los equipos de la instalación. A continuación, se detallarán las características de cada tramos en concreto, y posteriormente se detallarán los resultados obtenidos para cada tramo en concreto en el cálculo correspondiente hecho en los Anexos.

En la **Figura M6.30** se muestra la vista detalle de los tramos 1 y 2 de la instalación.

**Figura M6.30. Vista detalle tramos 1 y 2.**



- **Tramo 1:** Esta conducción conecta el punto de toma del biogás desde el digester anaerobio N°2 de la EDAR de Castellón de la Plana hasta la entrada del gas a la columna de absorción CA-1.

El tramo esta compuesto por un tramo recto horizontal de 2 m, un tramo recto vertical de 0,59 m, un codo de 90° de gran curvatura, una válvula de asiento y 1 reducción 150-100.

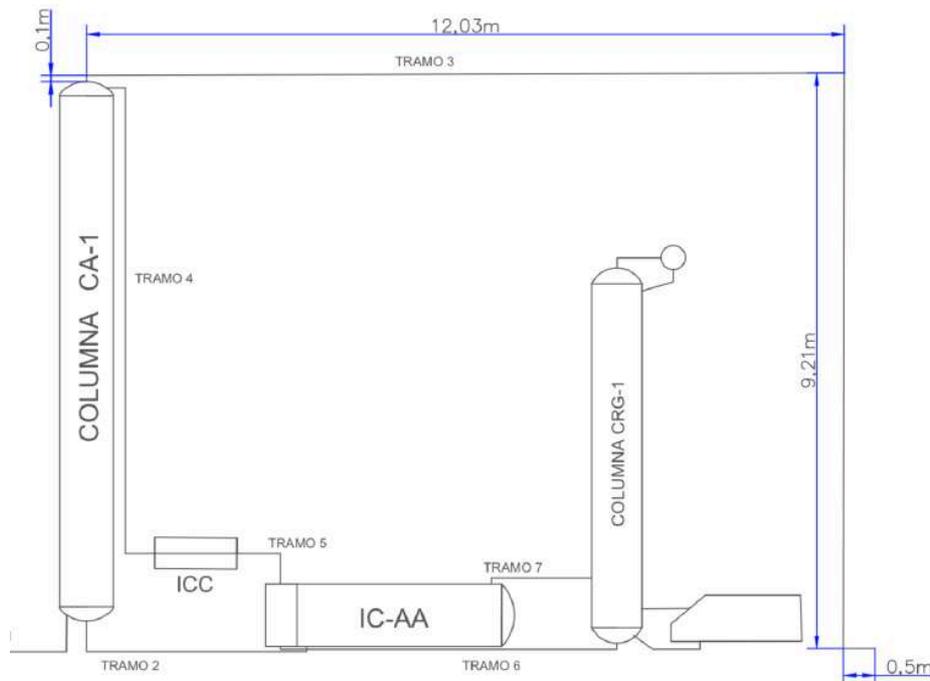
Este tramo contiene bastantes accidentes por ser un punto que conecta una tubería ya existente con la nueva columna diseñada. Transportará primordialmente fluido en fase gas, y la instalación de la válvula de asiento permitirá cortar el suministro a la columna para operaciones de mantenimiento o ante algún problema técnico o de seguridad.

- **Tramo 2:** El tramo 2 será el que transporte la solución de amina rica desde el fondo de la columna CA-1 hasta la entrada a la coraza del intercambiador IC-AA.

El tramo 2 esta compuesto por un tramo recto vertical de 0,49 m, un tramo recto horizontal de 3,49 m, un tramo recto vertical de 0,08 m y dos codos de 90° estándar.

En la **figura M6.31** se muestra el detalle del tramo 3 de la instalación.

**Figura M6.31. Vista detalle tramo 3.**

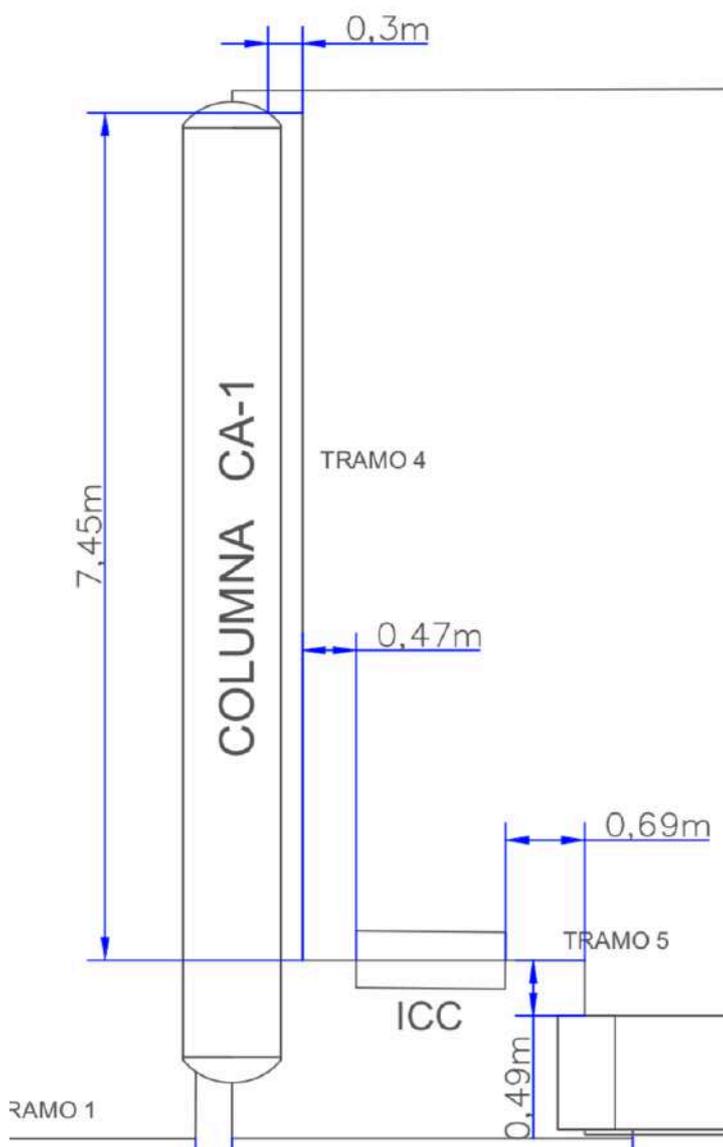


- **Tramo 3:** El tramo 3 de la instalación conectará la salida del biogás desde la columna CA-1 hasta el sistema de valorización empleado. En este caso, como este proyecto no contempla el diseño en si del sistema de valorización, la conducción se ha diseñado de manera que se deje un punto de conexión preparado para el sistema empleado posteriormente.

El tramo 3 está compuesto por un tramo recto vertical de 0,1 m, un tramo recto horizontal de 12,03 m, un tramo recto vertical de 9,21 m, un tramo horizontal de 0,5 m, una válvula de asiento al final de la conducción y 3 codos de 90° de gran curvatura.

En la **figura M6.32** se muestra el detalle de los tramos 4 y 5 de la instalación.

**Figura M6.32. Vista detalle tramos 4 y 5.**



- **Tramo 4:** El tramo 4 es el que conecta la salida del intercambiador ICC con la columna CA-1. Transporta solución de amina pobre.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

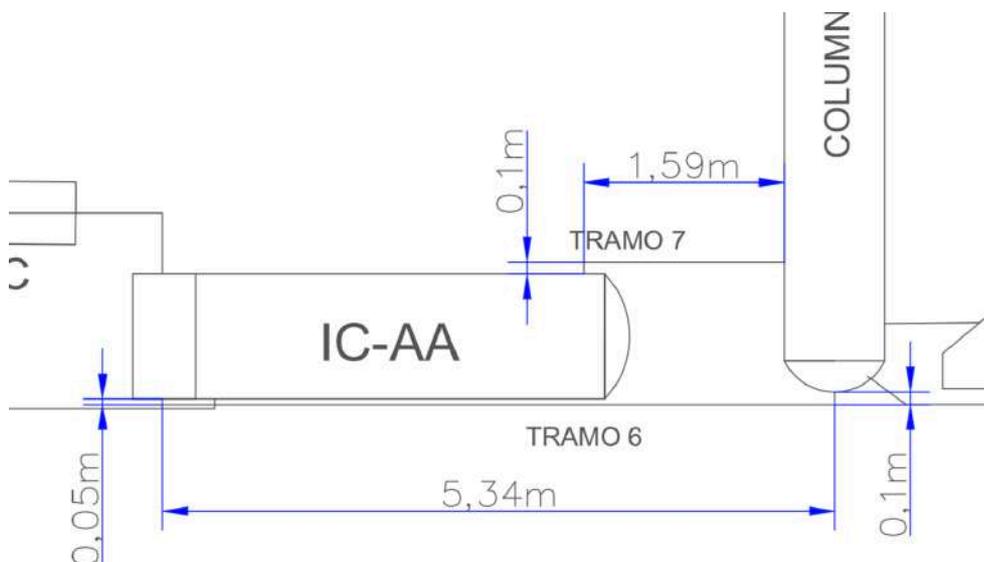
El tramo 4 está compuesto por un tramo recto horizontal de 0,47 m, un tramo recto vertical de 7,45 m, un tramo recto horizontal de 0,3 m y 2 codos de 90° estándar.

- **Tramo 5:** El tramo 5 de la instalación servirá para conectar la salida de solución de amina pobre del lado de los tubos del intercambiador IC-AA con la entrada al intercambiador ICC.

El tramo 5 estará compuesto por 1 tramo recto horizontal de 0,69 m, 1 tramo recto vertical de 0,49 m y 1 codo de 90° estándar.

En la **figura M6.33** se muestra el detalle que comprende los tramos 6 y 7 de la instalación.

**Figura M6.33. Vista detalle tramos 6 y 7.**



- **Tramo 6:** El tramo 6 de la instalación servirá para conectar la solución de amina rica que sale de la columna CRG-1 con la entrada por el lado de los tubos en el intercambiador IC-AA.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

El tramo 6 estará compuesto por un tramo recto vertical de 0,05 m, un tramo recto horizontal de 5,34 m, un tramo recto vertical de 0,1 m y 2 codos de 90° estándar.

- **Tramo 7:** Y por último, el tramo 7 de la instalación conectará la salida del lado de la coraza del intercambiador IC-AA con la entrada a la columna CRG-1. Este tramo puede sufrir variaciones en la construcción final, pues dependerá de la altura de entrada de alimentación que establezca el fabricante de la columna CRG-1 en el diseño final de esta.

El tramo 7 de conducción estará compuesto por un tramo recto vertical de 0,1 m, un tramo recto horizontal de 1,59 m y un codo de 90° estándar.

### 6.4.2 RESULTADO FINAL DE LAS CONDUCCIONES

Una vez definidos todos los tramos que componen el sistema de conducciones de la instalación proyectada, se resumen en la **tabla M6.5** las conducciones seleccionadas para cada tramo, especificando el material, proveedor, diámetro nominal y espesor.

**Tabla M6.5. Resumen conducciones.**

Tramo	Diámetro nominal (mm)	Espesor (mm)	Material	Proveedor
1	100	6,02	Acero al carbono A106	Vemacero
2	15	2,77	Acero al carbono A106	Vemacero
3	100	6,02	Acero al carbono A106	Vemacero
4	15	2,77	Acero al carbono A106	Vemacero
5	15	2,77	Acero al carbono A106	Vemacero
6	15	2,77	Acero al carbono A106	Vemacero
7	15	2,77	Acero al carbono A106	Vemacero

Una vez definidos todos los tramos, y las tuberías a utilizar, se debe estudiar la necesidad de equipos de impulsión para los fluidos dentro de la instalación.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Aunque varias presiones de operación no se conocen con exactitud, se determinará cualitativamente la necesidad del estudio de los equipos de impulsión.

- Tramo 1: Se considera innecesaria la instalación de un compresor para gas dado que actualmente el biogás es llevado a un motor de combustión sin ningún tipo de bombeo centrífugo, aunque el biogás entre a baja presión a la columna CA-1, será la suficiente para que su flujo sea adecuado.
- Tramo 2: El hecho de tratarse de una conducción prácticamente horizontal, y de que la columna trabaje a una presión bastante elevada, elimina la necesidad de que este tramo necesite bombeo centrífugo externo.
- Tramo 3: El tramo de transporte de biogás ya desulfurado hasta un punto de preparación para su valorización energética es a primera vista conflictivo, la gran longitud del tramo y su necesidad de superar una gran altura convierten a este tramo en un claro objeto de estudio para instalación de un compresor centrífugo.
- Tramo 4: Este tramo de conducción se analiza para ver la necesidad de instalación de una bomba centrífuga por las diferencias de presiones claras entre ambos puntos, así como la gran diferencia de alturas.
- Tramo 5: No se considera necesario, dado que el intercambiador IC-AA trabajará a una presión bastante mayor que el intercambiador complementario, lo que será suficiente para que el fluido circule por la tubería.
- Tramo 6: La presión de operación de la columna regeneradora así como la columna de líquido que se formará en el fondo torresférico de esta serán condiciones necesarias para obtener un flujo correcto de la solución de amina por el tramo de tuberías.

- Tramo 7: Al igual que en el tramo 5, la propia presión a la que trabaja el intercambiador IC-AA es condición necesaria para que el flujo del fluido en la conducción sea adecuado.

### 6.4.3 EQUIPOS DE IMPULSIÓN

En cuanto a los sistemas de impulsión, existen diversas alternativas. En el caso de los fluidos no compresibles (líquidos), se resumen esquemáticamente en la **figura M6.34**.

**Figura M6.34. Tipos de bombas hidráulicas.**



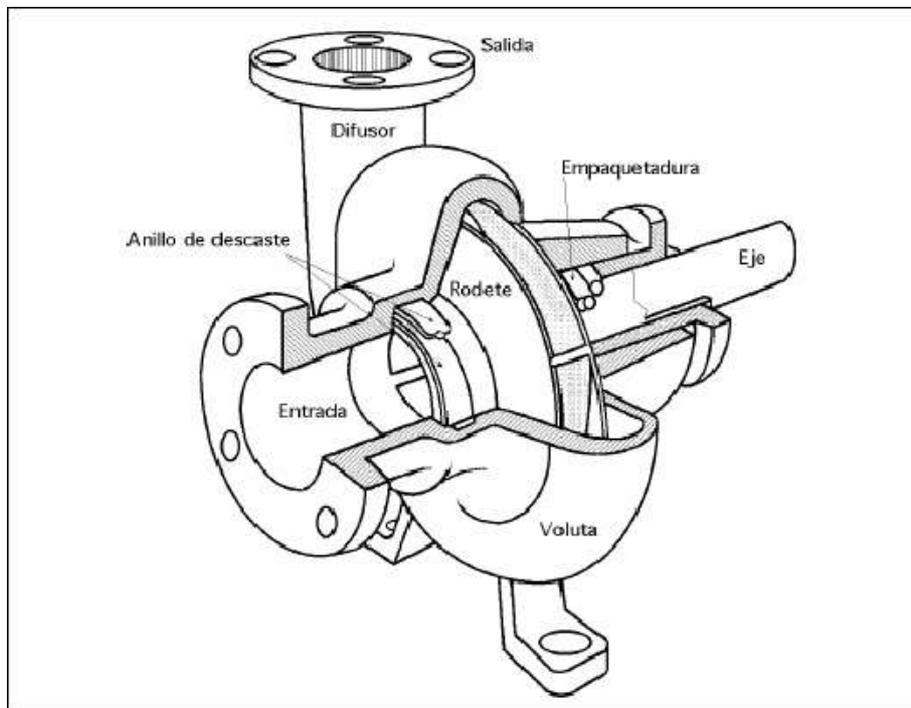
Las bombas de desplazamiento positivo funcionan creando una alternancia entre aumento y disminución del volumen del fluido dentro de la bomba, obligando al fluido a circular. Son usadas normalmente en aplicaciones a pequeña escala, y por lo general son mas caras que las bombas cinéticas, por lo que se descarta su uso para una aplicación industrial como la proyectada en esta instalación.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Las bombas cinéticas funcionan transmitiendo energía cinética al fluido, aumentando su velocidad en su interior. Esto no implica que el fluido a la salida de una bomba vea aumentada su velocidad enormemente. Toda esa energía cinética se transforma en su mayoría en un aumento de presión en el fluido.

En cuanto a las bombas cinéticas, las más usadas, con mayor expansión comercial y técnica y con mayor variedad de precios y capacidades son las bombas centrífugas, por lo que para la instalación en estudio, se seleccionan las bombas centrífugas como medio de impulsión de fluidos no compresibles.

**Figura M6.35. Estructura básica de una bomba centrífuga.**



Una vez seleccionado el tipo de bomba hidráulica a instalar, es importante remarcar algunos aspectos que es importante controlar en este tipo de equipos.

Las bombas centrífugas son equipos que presentan grandes ventajas:

- Gran versatilidad de impulsión.
- Bajo coste.
- Costes de diseño, operación y mantenimiento reducidos.
- Proporcionan un caudal constante.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Requieren un NPSH pequeño.

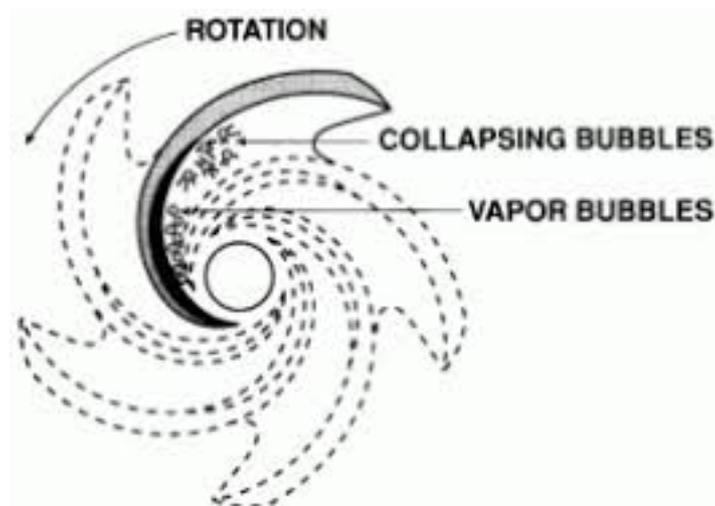
Pero por el contrario, también presentan algunas desventajas:

- Su rango de operación a alto rendimiento es muy limitado.
- No son autocebadas.

El concepto de NPSH es uno de los más importantes en el diseño de una bomba centrífuga, por definición, el NPSH es un concepto que define la carga de aspiración de la bomba en el tramo inmediatamente anterior a la entrada a esta. En diseño hidráulico, se distingue entre dos conceptos distintos pero complementarios.

- $NPSH_{requerido}$ : Es el valor de NPSH que requiere la propia bomba (modelo comercial). Su valor se puede obtener de las curvas características que cada fabricante proporciona con sus equipos.
- $NPSH_{disponible}$ : Es aquel disponible en la sección de aspiración previo a la bomba.

**Figura M6.36. Inicio de cavitación en una bomba centrífuga.**



Estos valores deberán cumplir la siguiente condición para asegurar que la bomba no sufra cavitación (**Figura M6.36**), es decir, una vaporización parcial del líquido, que originaría bolas de gas en el caudal de líquido (esto puede provocar desperfectos mecánicos, ruidos, vibraciones, disminución de eficiencia...):

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido}$$

Todo el proceso de calculo y selección del modelo comercial se detalla en el Anexo IV de este mismo proyecto. Además, en el Anexo V se presenta el catálogo comercial de la bomba seleccionada, con sus respectivas curvas características. En la **tabla M6.6** se muestra un cuadro resumen del modelo seleccionado.

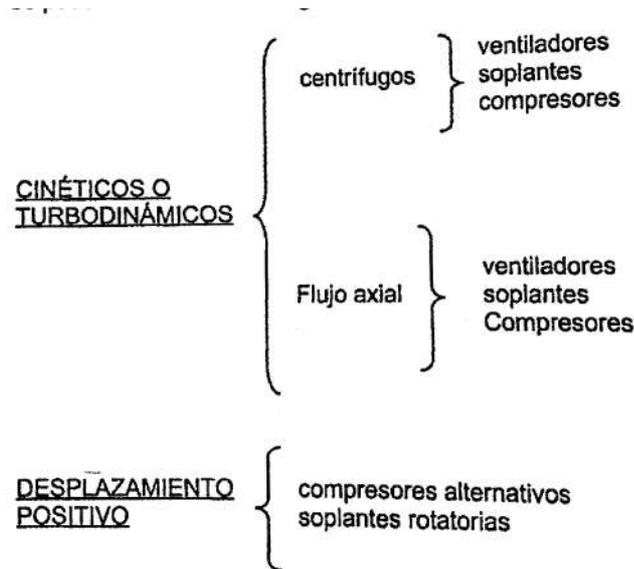
**Tabla M6.6. Bomba centrífuga seleccionada (Tramo 4).**

BOMBA CENTRÍFUGA	
<b>Proveedor</b>	Grundfos
<b>Modelo</b>	CR 1s-3
<b>Material</b>	Acero inoxidable (eje, impulsor, cámara y camisa) y fundición EN GJL200 (cabezal y base)
<b>Peso (kg)</b>	23
<b>Dimensiones (m)</b>	0,47 x 0,25 x 0,22
<b>Potencia (W)</b>	370
<b>Imagen</b>	

Una vez analizado el equipo de impulsión para fluidos no compresibles, se analizará el equipo para fluidos compresibles (gases).

En la **figura M6.37** se muestran los tipos de equipos de impulsión y compresión de gases mas habituales.

**Figura M6.37. Equipos de impulsión y compresión de gases.**



Su clasificación general es idéntica a los impulsores de líquidos, diferenciando entre cinéticos y de desplazamiento positivo.

Al igual que anteriormente, se selecciona un modelo de funcionamiento cinético, mas extendidos en el mercado y por tanto con mayor variedad de modelos y precios. Además, ofrecen mucha mas versatilidad en cuanto a variaciones en el caudal y condiciones del gas.

Dentro del grupo de impulsores cinéticos, se selecciona un modelo centrífugo, se diferencian de los de flujo axial en que el fluido abandonará en impulsor en un eje perpendicular al eje de este (al igual que en una bomba centrífuga).

Dentro de los impulsores centrífugos, se podría considerar difícil la clasificación en los otros 3 subgrupos existentes, pues sus diferencias a veces son difíciles de establecer con claridad. Se podría decir simplídicamente que los ventiladores se limitan a “empujar” el fluido sin aumentar significativamente su presión. En cambio los soplantes y compresores si que proporcionan un aumento de presión a su salida.

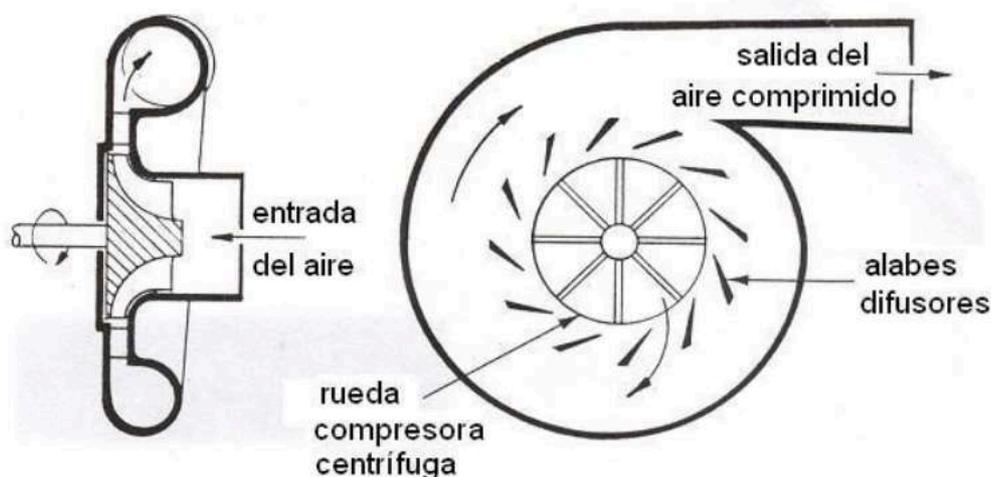
Para el caudal de gas que va a trabajarse, un compresor centrífugo es la opción perfecta, dada su gran adaptabilidad a cambios puntuales en la producción, su precio relativamente económico, así como la gran variedad de modelos comerciales existentes,

lo que facilita enormemente la tarea de buscar un modelo que se ajuste a las necesidades descritas.

Al contrario que para la selección de la bomba centrífuga, en este caso los cálculos presentes en el anexo sirven para justificar de alguna manera la selección de un modelo u otro, es decir, mediante el cálculo analítico se puede prever el rango de compresores entre los que hay que afinar la búsqueda, con el dato añadido del caudal.

En la **Figura M6.38** se muestra esquemáticamente el funcionamiento de un compresor centrífugo estándar:

**Figura M6.38. Compresor centrífugo.**



En el Anexo IV de este mismo proyecto se realiza la selección del modelo a utilizar, así como una valoración cualitativa de esta selección.

Por otro lado, en el Anexo V se muestra la ficha técnica resumida del compresor centrífugo elegido, así como el catálogo del fabricante, a continuación se expone una ficha técnica resumida a modo de información complementaria como solución final del análisis del equipo.

**Tabla M6.7. Compresor centrífugo seleccionado (Tramo 3).**

<b>COMPRESOR CENTRÍFUGO</b>	
<b>Proveedor</b>	KNF
<b>Modelo</b>	N 936.3 ANE
<b>Material</b>	Aluminio (cabezal) y acero inoxidable (diafragma).
<b>Peso (kg)</b>	5,2
<b>Dimensiones (m)</b>	0,23 x 0,14 x 0,129
<b>Potencia (W)</b>	190
<b>Imagen</b>	

## 7. PLANIFICACIÓN

Para la realización de la planificación se ha utilizado el programa Microsoft Project 2016. La planificación comprenderá las fechas de inicio de las actividades de obra de la instalación, así como los días previstos para su finalización.

Además, se realizarán y aportarán el correspondiente Diagrama de Gantt y el correspondiente Diagrama de redes del sistema planificado.

Las actividades que se han tenido en consideración para realizar la planificación del proyecto son:

- 1- Preparación zona instalación: Dado que la EDAR de Castellón de la Plana ya dispone de un terreno adecuado y preparado, solo se considerará la actividad correspondiente a la preparación de la zona donde se instalarán los equipos proyectados. Duración prevista: 15 días.
- 2- Obra civil de los equipos: Esta actividad comprende todas las tareas necesarias para el montaje de los equipos. Incluye la construcción de la columna, así como la instalación de todo el restante de equipos que ha sido proyectado. También comprende todas las fijaciones o cimentaciones necesarias para asegurar los equipos adecuadamente. Duración prevista: 80 días.
- 3- Obra de equipamiento adicional: Comprenderá todos los equipos considerados como secundarios en la instalación. Se entiende por ello los impulsores de fluidos, posibles calderines o mangueras para circulación de agua... Duración prevista: 30 días.
- 4- Conexión entre equipos: Comprende la instalación de todas las conducciones proyectadas en el proyecto. Duración prevista: 25 días.
- 5- Instalación eléctrica y fontanería: Como la planta ya posee las instalaciones básicas de luz y agua, esta actividad se referirá a la adaptación de esa instalación existente a los nuevos equipos. Duración prevista: 10 días.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- 6- Pruebas técnicas columna CA-1: Comprende todas las pruebas técnicas de funcionamiento referentes a la columna de absorción. Duración prevista: 15 días.
- 7- Resto pruebas técnicas de funcionamiento: Comprende las pruebas del restante de equipos de la instalación. Duración prevista: 20 días.

En la **tabla M7.1** quedan definidas todas las actividades del proyecto a tener en cuenta para la planificación de este.

**Tabla M7.1. Actividades del proyecto.**

	 Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1		Preparación zona instalación	15 días	lun 03/09/18	vie 21/09/18	
2		Obra civil de los equipos	80 días	lun 24/09/18	vie 11/01/19	1
3		Obra de equipamiento adicional	30 días	lun 14/01/19	vie 22/02/19	2
4		Conexión entre equipos	25 días	lun 25/02/19	vie 29/03/19	3
5		Instalación eléctrica y fontanería	10 días	lun 01/04/19	vie 12/04/19	4
6		Pruebas técnicas columna CA-1	15 días	lun 15/04/19	vie 03/05/19	5
7		Resto pruebas técnicas funcionamiento	20 días	lun 15/04/19	vie 10/05/19	5

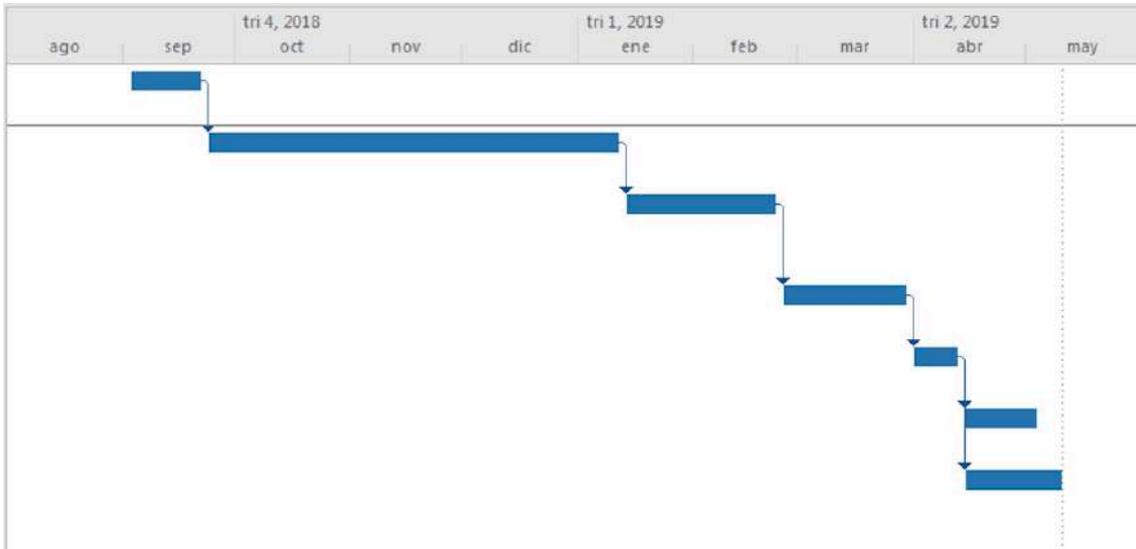
Una vez definidas las actividades, a las cuales se marca como fecha de inicio el 3 de Septiembre de 2018 y como fecha de finalización prevista el 10 de Mayo de 2019, se puede realizar el Diagrama de Gantt y el diagrama de redes del sistema.

Tanto Gantt como el diagrama de redes suponen una forma gráfica de mostrar la planificación de las actividades, y en caso de retrasos, permiten un análisis más sencillo de los cuellos de botella y las posibles soluciones para minimizar el retraso de la fecha de final del proyecto.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

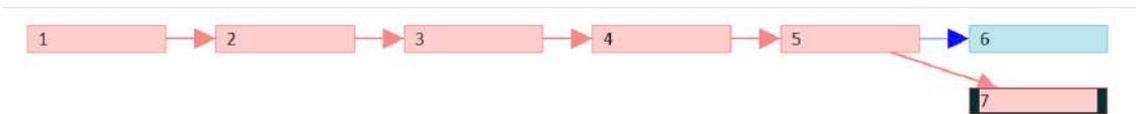
En la **Figura M7.1** se muestra el Diagrama de Gantt, como se puede observar, todas las actividades son consecutivas, excepto la 6 y la 7, que empiezan simultáneamente.

**Figura M7.1. Diagrama de Gantt.**



Y por último, en la **Figura M7.2**, se muestra el diagrama de redes del proyecto.

**Figura M7.2. Diagrama de redes del proyecto.**



## 8. ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

Según lo establecido en la Norma UNE 157001-Febrero de 2002 de “*Criterios generales para la elaboración de proyectos*”, el orden prioritario que se debe tomar entre todos los documentos básicos contenidos en este proyecto deberá ser:

1. Memoria
2. Planos
3. Pliego de condiciones
4. Presupuesto

El documento de Anexos y Estado de mediciones no se tienen en cuenta dado que cuentan como un paso hacia la obtención de los resultados, pero no como un fin explicativo. Es decir, quedarían implícitos en el resto de documentos indirectamente.

## 9. ESTUDIO ECONOMICO Y VIABILIDAD

El estudio de viabilidad económica supone un paso final en el proyecto, el cual se encarga de resumir y sintetizar toda la información relativa a los aspectos monetarios de este, llevando a una toma de decisión final sobre la aceptación o rechazo del proyecto.

Para llevar a cabo el estudio económico, se realizará en primer lugar un resumen del presupuesto (el cual está detallado en el documento básico nº7 de este mismo proyecto), seguido de:

- Presupuesto de explotación
- Beneficio
- Flujo de caja
- VAN, TIR y PR

### 9.1 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

El presupuesto queda fielmente detallado en el documento básico nº7 de este mismo proyecto, por eso aquí se hará una síntesis de los datos obtenidos con el fin de facilitar el entendimiento del estudio de viabilidad económica.

En la **tabla M9.1** se muestra el PEM (Presupuesto de ejecución de material) para el proyecto, considerando todas las partidas presupuestarias necesarias:

**Tabla M9.1. PEM total.**

<b>Partida</b>	<b>Total (€)</b>
Partida 1: Equipos	489.569,00
Partida 2: Conducciones y accesorios	1.871,81
Partida 3: Obra civil e instalaciones	12.500,00
Partida 4: Gestión de residuos de obra	375,00
Partida 5: Pruebas técnicas de funcionamiento	1.745,92
Partida 6: Mano de obra	73.435,35
<b>TOTAL PEM</b>	<b>579.497,08€</b>

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Tras obtener el PEM, se obtiene el PEC (Presupuesto por ejecución de contrata), que supone en añadir al valor del PEM obtenido un porcentaje para el beneficio industrial (6%) y para los gastos generales (13%). El valor del PEC obtenido se muestra en la **tabla M9.2**:

**Tabla M9.2. PEC antes de IVA.**

<b>Elemento</b>	<b>Total (€)</b>
PEM	579.497,08
Gastos generales (13% del PEM)	75.334,62
Beneficio Industrial (6% del PEM)	34.769,82
<b>TOTAL PEC</b>	<b>689.601,52 €</b>

Y por último, para obtener el valor del presupuesto total, se aplica el porcentaje del IVA (actualmente un 21%).

**Tabla M9.3. Presupuesto total (PT).**

<b>Elemento</b>	<b>Total (€)</b>
PEC antes de IVA	689.601,52
IVA (21%)	144.816,31
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>834.417,83 €</b>

## 9.2 PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN

El presupuesto de explotación supone lo que habitualmente se conoce como gastos totales (GT). Los gastos se expresan como los totales en 1 año.

### 9.2.1 GASTOS DIRECTOS

Se llaman gastos directos a aquellos que dependerán directamente de la producción del sistema diseñado. Es decir, en el caso de este proyecto, los gastos directos irían en función de las horas de funcionamiento del sistema de desulfuración, teniendo en cuenta todos los equipos y materiales que intervienen en el proceso.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

El total de gastos directos de la instalación serían, expresados en totales anuales, los expuestos en la **tabla M9.4**.

**Tabla M9.4. Gastos directos de la instalación.**

Elemento	Cantidad anual	Precio unitario	Total
Electricidad	4905,6 kWh/año	0,13 €/kWh	637,72 €
Agua	20.060.400,00 kg/año	0,00065 €/kg	13.039,26 €
Vapor de agua	23.725,00 m <sup>3</sup> /año	25 €/m <sup>3</sup>	593.125,00 €
DEA	100 l/año	18,17 €/l	1.817,00 €
Agua desmineralizada	400 l/año	0,019 €/l	8,00 €
<b>TOTAL GASTOS DIRECTOS</b>			<b>608.626,98 €</b>

### 9.2.2 AMORTIZACIONES

En la **tabla M9.5** se muestra el total de equipos de la instalación presupuestados, los años de amortización de cada uno y el total anual de cada amortización individual.

**Tabla M9.5. Amortizaciones de los equipos.**

Equipo	Precio (€)	Periodo amortización	Total anual (€)
Columna CA-1	54.252,00	10	5.425,2
Columna CRG-1	350.000,00	25	14.000,00
Intercambiador IC-AA	50.000,00	10	5.000,00
Intercambiador ICC	25.000,00	10	2.500,00
Bomba centrífuga	5.500,00	10	550,00
Compresor centrífugo	3.000,00	10	300,00
<b>TOTAL AMORTIZACIONES</b>			<b>27.775,2</b>

### 9.2.3 GASTOS INDIRECTOS

Se consideran gastos indirectos aquellos que no dependen directamente de la producción en la instalación, es decir, incluso estando la instalación en parada, los gastos indirectos seguirán generándose.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Entre los gastos indirectos, aquello que se consideran habitualmente en este tipo de proyectos son:

- Mano de obra
- Iluminación
- Material de oficina
- Limpieza
- Otros

En este caso, no se tendrán en consideración ni la iluminación ni el material de oficina, por ser partidas que incluso sin realizarse esta instalación, seguirán existiendo en la EDAR.

Así mismo, también se consideran como gastos indirectos las nominas correspondientes al personal de la planta necesario para la operación de la instalación. En este caso se deben hacer varias consideraciones. El emplazamiento de la instalación proyectada, es una EDAR en pleno funcionamiento actualmente, la cual ya tiene operarios que se encargan de toda la línea de aguas, así como de la de fangos, incluyendo el mantenimiento en el digestor anaerobio y en el sistema de valorización energética. Por tanto, a modo considerativo, consideraremos la nomina de tan solo 1 operario, teniendo en cuenta que el sistema que hay actualmente es de un nivel técnico mucho mas sencillo, sin tantos equipos que controlar y líneas de flujo variadas, por lo que considerar un nuevo sueldo como algo extra a lo existente actualmente puede ser una aproximación acertada.

**Tabla M9.6. Gastos indirectos relativos al personal.**

Puesto	Retribución anual
Operario EDAR	21.000,00 €/año

En la **tabla M9.7**, se muestran el resto de gastos indirectos a considerar (junto con el ya considerado gasto de mano de obra), como son la limpieza de las instalaciones y una pequeña parte considerada como “otros” que hacer referencia a todos esos pequeños gastos que surgen habitualmente en este tipo de instalaciones. El total de gastos indirectos queda así:

**Tabla M9.7. Gastos indirectos.**

<b>Gasto</b>	<b>Total anual (€)</b>
Limpieza	9.000,00
Otros	6.000,00
Mano de obra	21.000,00
Amortizaciones	27.775,52
<b>TOTAL</b>	<b>63.775,2</b>

#### 9.2.4 GASTOS TOTALES

Una vez definidos los gastos directos, indirectos y las amortizaciones, se pueden totalizar todos los gastos relativos a la instalación.

El presupuesto de explotación anual, por tanto, asciende a un total de 672.402,1 €.

**Tabla M9.8. Gastos totales.**

<b>Concepto</b>	<b>Total</b>
Gastos directos	608.626,98 €
Gastos indirectos	63.775,2 €
Gastos totales	672.402,1 €

#### 9.3 BENEFICIO

La realización de un estudio de viabilidad económica incluye entre otras cosas, la necesidad de saber los beneficios que generará la instalación durante su operación. Para ello, se deberán calcular los ingresos que se recibirán, y junto con los gastos ya calculados, se podrá determinar el beneficio.

Para determinar los ingresos, solo se podrá tener en cuenta el sulfhídrico derivado a una empresa externa para su tratamiento en una unidad de recuperación de azufre.

La instalación generará alrededor de 62.000 kg de H<sub>2</sub>S al año. Este gas supondrá una materia prima para un sistema de recuperación de azufre. Teniendo en cuenta el precio

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

del azufre elemental (450 €/t), la empresa productora pagaría un máximo de hasta un 30% por la materia prima en este caso, por lo que:

**Tabla M9.9. Ingresos generados por la instalación.**

Generación	Precio (€/t)	Total
62 t H <sub>2</sub> S/año	135	8370 €/año

Como se observa en los datos reflejados en la **tabla M9.9**, los ingresos que genera la instalación son realmente pequeños. Esto tampoco supone un dato completamente relevante para aceptar o rechazar un proyecto, pues la instalación en si presentará otras ventajas que se detallarán mas adelante.

Para el cálculo del beneficio bruto (antes de impuestos) se realizarán cálculos para un total de 10 años, considerando una subida del IPC del 2,5% anual.

En la **tabla M9.10** se muestra el detalle:

**Tabla M9.10. Beneficio bruto a 10 años.**

Año	Gastos totales (€)	Ingresos totales (€)	Beneficio bruto (€)
1	672.402,10	8.370,00	-664.032,10
2	689.212,15	8.579,25	-680.632,90
3	706.442,46	8.793,73	-697.648,73

En este caso, como se puede observar, siendo todos los beneficios negativos, no tiene sentido seguir analizando económicamente esta situación, pues tendrá muchas ventajas, pero al menos económicamente no es rentable.

Aun así, como se ha comentado durante todo el proyecto, la idea final de este sistema es la instalación de una pila de combustible para valorizar el biogás. La instalación de este equipo puede cambiar el rumbo del análisis económico, pues por un lado aumentará los ingresos por la venta de la electricidad, y por otro reducirá los gastos de uso de vapor de agua, dado que la pila permitirá usar su vapor de salida para cogeneración. Aunque

también es importante tener en cuenta que la PC es muy cara, y eso aumentará la inversión inicial.

Para este subcaso con PC, se reelabora en primer lugar el presupuesto de explotación. En primer lugar, se reelaborará la tabla de gastos directos de la instalación, para este caso, el gasto de electricidad y vapor de agua desaparecería con la instalación de la pila, por tanto:

**Tabla M9.11. Gastos directos con PC.**

Elemento	Cantidad anual	Precio unitario	Total
Agua	20.060.400,00 kg/año	0,00065 €/kg	13.039,26 €
DEA	100 l/año	18,17 €/l	1.817,00 €
Agua desmineralizada	400 l/año	0,019 €/l	8,00 €
TOTAL GASTOS DIRECTOS			14.864,26 €

Los gastos indirectos sufrirán variación en el valor de las amortizaciones anuales, al que se añade la amortización del equipo de la pila de combustible.

**Tabla M9.12. Gastos totales con PC.**

Concepto	Total
Gastos directos	14.864,26 €
Gastos indirectos	34.887,60 €
Gastos totales	49.751,86 €

A continuación se recalcula el cuadro de ingresos generados por la instalación, se va a considerar que la energía sobrante que genere la pila de combustible se venderá a una hidroeléctrica al precio habitual de coste de energía renovable. La pila de combustible, con una potencia real de unos 1360 kW, generará al año alrededor de 11.913.600,00 kW-h de energía.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

De ese total, alrededor de 5000 kW-h/año son consumidos por la instalación, por tanto se considerará el resto como energía en exceso que podrá valorarse económicamente.

Es importante remarcar que realmente, teniendo la EDAR en su totalidad de equipos una potencia instalada de 1369 kW, la pila de combustible serviría para reducir a prácticamente cero los gastos de electricidad de la planta, pero en este caso, para poder realizar un análisis económico con resultados interpretables, consideraremos que esa energía sobrante es vendida para poder considerarlo como un ingreso de explotación.

**Tabla M9.13. Ingresos generados por la instalación con PC.**

Generación	Precio	Total
62 t H <sub>2</sub> S/año	135 €/t	8.370,00 €/año
11.908.600,00 kW-h/año	0,086 €/kW-h	1.024.139,6 €/año
TOTAL		1.032.509,6 €/año

Una vez recalculado el presupuesto de explotación y los ingresos obtenidos, se puede calcular el beneficio bruto anualmente.

**Tabla M9.14. Beneficio bruto con PC.**

Año	Gastos totales (€)	Ingresos totales (€)	Beneficio bruto (€)
1	49.751,86	1.032.509,60	982.757,74
2	50.995,66	1.032.510,63	981.514,97
3	52.270,55	1.032.511,65	980.241,10
4	53.577,31	1.032.512,68	978.935,36
5	54.916,74	1.032.513,70	977.596,96
6	56.289,66	1.032.514,73	976.225,06
7	57.696,90	1.032.515,75	974.818,85
8	59.139,33	1.032.516,78	973.377,45
9	60.617,81	1.032.517,80	971.899,99
10	62.133,26	1.032.518,83	970.385,57

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Y finalmente, aplicando un 25% de Impuestos de Sociedades al beneficio bruto obtenido, se obtiene el beneficio neto que genera la instalación en un plazo de 10 años.

**Tabla M9.15. Beneficio neto con PC.**

<b>Año</b>	<b>Beneficio bruto (€)</b>	<b>Beneficio neto (€)</b>
1	982.757,74	737.068,31
2	981.514,97	736.136,23
3	980.241,10	735.180,83
4	978.935,36	734.201,52
5	977.596,96	733.197,72
6	976.225,06	732.168,80
7	974.818,85	731.114,13
8	973.377,45	730.033,09
9	971.899,99	728.924,99
10	970.385,57	727.789,18

#### 9.4 FLUJO DE CAJA (FC)

El flujo de caja representa el flujo económico de entrada y salida en una empresa en un periodo determinado. El flujo de caja se obtendrá con la **ecuación M9.1**:

$$FC = Beneficio\ neto + Amortización \quad (Ec. M9.1)$$

Como en este caso se está considerando la inclusión de la pila de combustible, se añade este equipo al total de amortizaciones. La tabla de amortizaciones quedaría por tanto así:

**Tabla M9.16. Amortizaciones con PC.**

Equipo	Precio (€)	Periodo amortización	Total anual (€)
Columna CA-1	54.252,00	10	5.425,2
Columna CRG-1	350.000,00	25	14.000,00
Intercambiador IC-AA	50.000,00	10	5.000,00
Intercambiador ICC	25.000,00	10	2.500,00
Bomba centrífuga	5.500,00	10	550,00
Compresor centrífugo	3.000,00	10	300,00
Pila de combustible	700.000,00	50	14.000,00
<b>TOTAL AMORTIZACIONES</b>			<b>41.775,2</b>

El flujo de caja, considerando un horizonte de 10 años quedaría:

**Tabla M9.17. Flujo de caja.**

Año	Beneficio neto (€)	Amortización (€)	Flujo de caja (€)
1	737.068,31	41.775,20	771.955,91
2	736.136,23	42.819,58	771.896,02
3	735.180,83	43.890,07	771.834,61
4	734.201,52	44.987,32	771.771,65
5	733.197,72	46.112,00	771.707,10
6	732.168,80	47.264,80	771.640,91
7	731.114,13	48.446,42	771.573,05
8	730.033,09	49.657,59	771.503,48
9	728.924,99	50.899,02	771.432,15
10	727.789,18	52.171,50	771.359,01

### 9.5 VAN, TIR Y PR

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador de la rentabilidad de un proyecto. Pueden darse tres casos:

- VAN < 0: indica que un proyecto no es rentable en un determinado periodo de tiempo.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- VAN > 0: el proyecto es rentable, las ganancias superan a los costes.
- VAN = 0: el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=10} \frac{FC}{(1 + i_r)^n} \quad (Ec. M9.2)$$

Donde:

- Inversión inicial = 1.994.545,26 € (Teniendo en cuenta la pila de combustible).
- Año del horizonte a considerar (N=10).
- Flujo de caja en un determinado año n.
- Interés normal del dinero de capital = 1,3.

Así, se puede obtener el valor del VAN, que se muestra en la **tabla M9.18**:

**Tabla M9.18. VAN a 10 años.**

AÑO	VAN
1	-1.232.496,00
2	-480.284,59
3	262.214,47
4	995.125,13
5	1.718.569,72
6	2.432.668,96
7	3.137.542,05
8	3.833.306,65
9	4.520.078,88
10	5.197.973,37

El periodo de retorno de un proyecto (PR) indicaría el tiempo necesario para recuperar la inversión. El periodo de retorno puede calcularse según:

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$PR = \frac{INVERSIÓN\ INICIAL}{BENEFICIO\ NETO\ PROMEDIO} \quad (Ec. M9.3)$$

El periodo de retorno obtenido es de DOS AÑOS Y NUEVE MESES.

PR=2 años y 9 meses

La tasa interna de rentabilidad de una inversión o proyecto es la tasa efectiva anual que hace que el VAN sea cero. El estudio del TIR se realiza para evaluar el beneficio de una inversión o proyecto. Cuanto mayor sea la TIR más rentable será el proyecto propuesto.

Si se supone que todos los otros factores que afectan al proyecto son iguales, el proyecto de mayor TIR sería considerado mejor y el primero en realizar (siempre que sea superior al interés nominal).

La ecuación que nos permite calcular la TIR es la siguiente:

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=10} \frac{FC}{(1 + TIR)^n} \quad (Ec. M9.4)$$

**Tabla M9.19. TIR del proyecto.**

VAN	TIR
3.964.270,57	5 %
4.264.541,74	4 %
3.553.085,89	6,5 %
3.183.684,49	8 %
25.845,87	36,5 %

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Por tanto, el TIR del proyecto (con la consideración especial de valorización energética) es de un 36,5%, valor muy por encima del interés nominal actual (3%). Esta consideración resultaría en un proyecto altamente rentable.

### 9.6 CONCLUSIÓN FINAL

El análisis económico del proyecto ha dejado claros muchos conceptos de cara a aceptar o rechazar el proyecto.

- En el caso del proyecto en si, es decir, en el caso de lo que realmente se ha proyectado y el sistema diseñado, el proyecto no es viable económicamente, genera pérdidas anuales muy elevadas. Esto no quiere decir que se rechace de entrada el proyecto, pues realmente es un sistema que tiene como objetivo final una valorización energética del biogás, lo que aumentaría el nivel de ingresos.
- En el caso en el que se ha considerado que la valorización del biogás se realice con una pila de combustible de carbonatos fundidos, se observa como el rumbo económico del proyecto cambia totalmente. Esto se produce por dos razones, la pila, en primer lugar, genera una cantidad de energía eléctrica muy por encima que el motor que actualmente valoriza el biogás, ese exceso de energía eléctrica permite un aumento grande de los ingresos. Y en segundo lugar, la pila de combustible además genera un vapor de agua como subproducto, que permite realizar un ciclo de cogeneración que reduce drásticamente los gastos directos de la instalación.

## 3. ANEXOS

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## ÍNDICE DE ANEXOS:

<b>A1. ANEXO I: ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN Y CÁLCULOS BÁSICOS</b> .....	<b>5</b>
<b>A1.1 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN</b> .....	<b>5</b>
A1.1.1 ESQUEMA DE LA COLUMNA DE RELLENO .....	6
<b>A1.2 CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DE LA CORRIENTE DE BIOGÁS Y SOLVENTE</b> .....	<b>7</b>
A1.2.1 PESO MOLECULAR MEDIO DEL BIOGÁS .....	7
A1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA DEA .....	8
A1.2.3 CAUDALES DE AGUA Y DEA NECESARIOS .....	10
<b>A2. ANEXO II: DISEÑO DE LA COLUMNA DE RELLENO</b> .....	<b>13</b>
<b>A2.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>A2.2 BALANCES DE MATERIA</b> .....	<b>15</b>
<b>A2.3 BALANCES DE ENERGÍA</b> .....	<b>17</b>
<b>A2.4 CURVA DE OPERACIÓN</b> .....	<b>19</b>
<b>A2.5 CÁLCULO DEL DIÁMETRO.</b> .....	<b>22</b>
<b>A2.6 CÁLCULO DE LA ALTURA DE RELLENO.</b> .....	<b>25</b>
A2.6.1. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA $k_G$ .....	25
A2.6.2. CÁLCULO DEL NUT Y HUT. ....	28
<b>A2.7 DISEÑO MECÁNICO DE LA COLUMNA.</b> .....	<b>32</b>
A2.7.1 CÁLCULO DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DE DISEÑO.....	32
A2.7.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE.....	34
A2.7.3 DISEÑO DE LOS FONDOS. ....	35
A2.7.4 ALTURA TOTAL DE LA COLUMNA. ....	37
<b>A3. ANEXO III: DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR</b> .....	<b>39</b>
<b>A3.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>39</b>
<b>A3.2 CORRIENTES DEL INTERCAMBIADOR Y PROPIEDADES</b> .....	<b>40</b>
<b>A3.3 CÁLCULOS DEL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR</b> .....	<b>40</b>
A3.3.1 BALANCE DE ENERGÍA .....	41
A3.3.2 CÁLCULO DEL ÁREA PRELIMINAR .....	42
A3.3.3 SELECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS TUBOS .....	43
A3.3.4 DIÁMETRO DE LA CORAZA.....	44
A3.3.5 DISEÑO DE LOS DEFLECTORES.....	46
A3.3.6 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR .....	47
A3.3.6.1 Coeficiente individual del lado de los tubos y la coraza. ....	48
A3.3.6.2 Coeficiente global de transmisión de calor.....	50
A3.3.7 LONGITUD TOTAL DEL INTERCAMBIADOR .....	51
<b>A3.4 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPLEMENTARIO</b> .....	<b>52</b>
<b>A4. ANEXO IV: CÁLCULOS DE LAS CONDUCCIONES</b> .....	<b>56</b>
<b>A4.1 CONDUCCIONES</b> .....	<b>56</b>
<b>A4.2 EQUIPOS DE IMPULSIÓN</b> .....	<b>66</b>
<b>A5. ANEXO V: CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS.</b> .....	<b>80</b>
<b>A5.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>80</b>
<b>A5.2 COLUMNA DE ABSORCIÓN CA-1</b> .....	<b>80</b>
<b>A5.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR IC-AA</b> .....	<b>91</b>
<b>A5.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR ICC</b> .....	<b>96</b>
<b>A5.4 COLUMNA DE REGENERACIÓN CRG-1</b> .....	<b>98</b>

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

<b>A5.5 CONDUCCIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>A5.6 EQUIPOS DE IMPULSIÓN .....</b>	<b>110</b>
<b>A5.7 EQUIPO DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL .....</b>	<b>121</b>
<b>A5.8 EQUIPO DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA CON PILA DE COMBUSTIBLE .....</b>	<b>126</b>
<b>A5.9 CONSUMOS DE LA INSTALACIÓN .....</b>	<b>129</b>
<b>A5.10 OTROS DOCUMENTOS DE INTERÉS. ....</b>	<b>131</b>

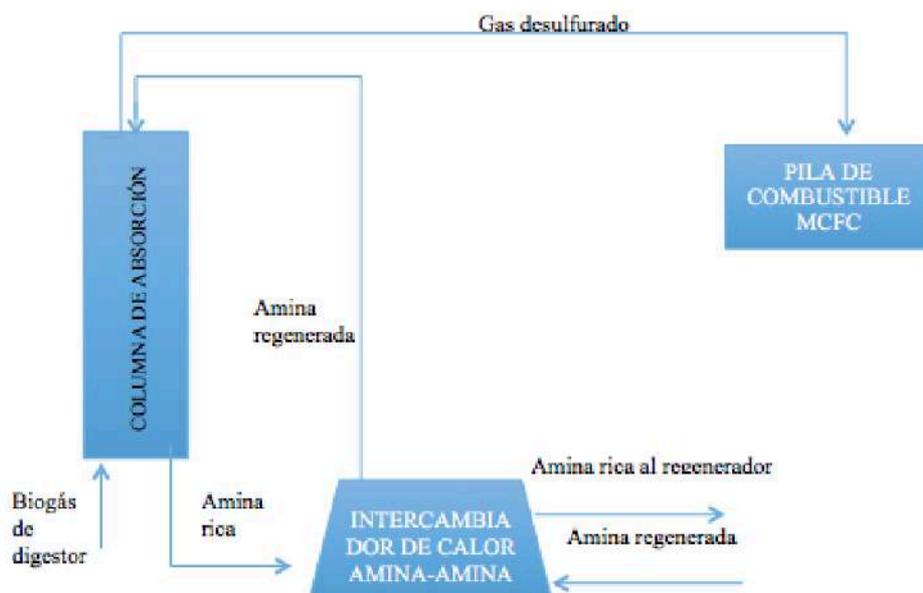
## A1. ANEXO I: ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN Y CÁLCULOS BÁSICOS

En este documento Anexo del proyecto se va a detallar el proceso de obtención de ciertas características básicas de las corrientes del proceso, así como un esquema general de todo el sistema. La obtención del peso molecular medio del biogás a depurar, cantidad de solvente necesaria para la absorción y balances de materia y energía necesarios para el diseño de la columna.

### A1.1 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

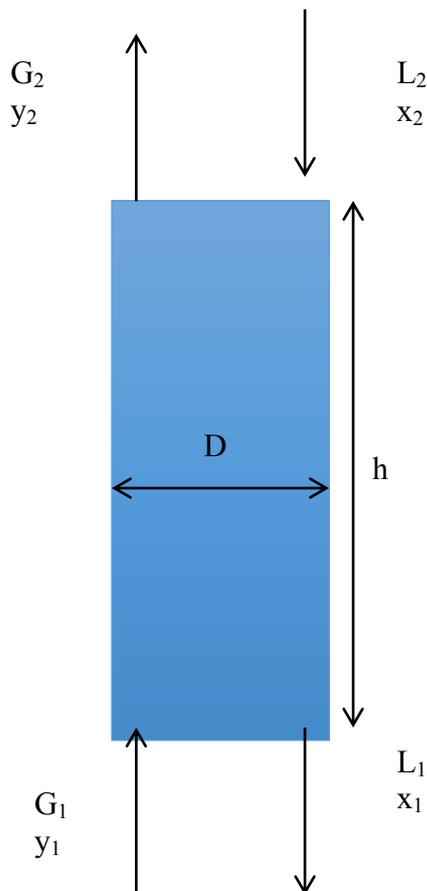
En la **figura A1.1** se representa de manera esquemática el proceso entero que se plantea en este proyecto, y que comprende desde la columna de absorción, hasta la posible valorización posterior del biogás en una pila de combustible.

**Figura A1.1. Esquema básico de la instalación proyectada**



### A1.1.1 ESQUEMA DE LA COLUMNA DE RELLENO

En este apartado se detalla de forma más concreta el esquema de las corrientes de entrada y salida a la columna de absorción (nomenclatura). De esta manera queda definido el esquema principal que seguirá la columna y se establece una nomenclatura estándar que se usará en todos los cálculos referentes al diseño de la columna (**Figura A1.2**).



**Figura A1.2. Esquema de las corrientes de la columna de absorción**

Donde:

- $G_1$ ,  $G_2$  son los caudales de gas por cola y cabeza de columna respectivamente (kmol/h).

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- $L_1$ ,  $L_2$  son los caudales de líquido por cola y cabeza de columna respectivamente (kmol/h).

- $y_1$ ,  $y_2$  son las fracciones molares (de soluto) en el gas por cola y cabeza de columna.

- $x_1$ ,  $x_2$  son las fracciones molares (de soluto) en el líquido por cola y cabeza de columna respectivamente.

-  $D$  y  $h$  son el diámetro y la altura de la columna respectivamente (m).

### A1.2 CARACTERISTICAS Y COMPOSICIÓN DE LA CORRIENTE DE BIOGÁS Y SOLVENTE

#### A1.2.1 PESO MOLECULAR MEDIO DEL BIOGÁS

En primer lugar es importante tener en cuenta que se va a trabajar con un gas no puro, constituido por la mezcla de otros gases en distintas proporciones. Teniendo en cuenta las fracciones molares que representa cada uno de esos gases que componen la mezcla de biogás (**Tabla A1.1**) y sus pesos moleculares (**Tabla A1.2**), se puede obtener un valor medio del peso molecular representativo para todo el gas.

**Tabla A1.1. Fracciones molares de la mezcla de biogás**

Componente químico	Fracción molar (%)
CH <sub>4</sub>	49,01
H <sub>2</sub> S	0,1
CO <sub>2</sub>	26,8
N <sub>2</sub>	19
O <sub>2</sub>	5,09
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

**Tabla A1.2. Pesos moleculares de los distintos compuestos**

Componente químico	PM (g/mol)
CH <sub>4</sub>	16,04
H <sub>2</sub> S	34,1
CO <sub>2</sub>	44
N <sub>2</sub>	14
O <sub>2</sub>	16

Con estos datos podemos calcular el peso molecular medio del biogás a depurar haciendo uso de la **Ecuación A1.1**

$$PM_{medio} = \sum_{i=1}^n PM_i \cdot x_i \quad (Ec. A1.1)$$

Donde:

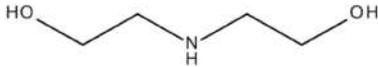
- PM<sub>i</sub>: Peso molecular del compuesto i (g/mol)
- x<sub>i</sub>: Fracción molar del compuesto i

Así, obtenemos un peso molecular medio de PM<sub>medio</sub>=23,1605 g/mol.

#### A1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA DEA

Tras caracterizar la corriente de biogás que va a desulfurarse, se exponen a continuación las características mas relevantes de la dietanolamina. En primer lugar, sus características fisicoquímicas (**Tabla A1.3**), seguido de unas figuras explicativas del SGA/GHS (Sistema Globalmente Armonizado) sobre toxicidad, peligros y normas de seguridad (**Figura A1.3/Figura A1.4**).

**Tabla A1.3. Características fisicoquímicas de la DEA.**

<b>DEA (Dietanolamina)</b>	
<b>Número CAS</b>	111-42-2
<b>Índice CE</b>	603-071-00-1
<b>Fórmula química</b>	$\text{NH}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2$
<b>Peso molecular</b>	105,14 g/mol
<b>Fórmula estructural</b>	
<b>Punto de ebullición</b>	270°C (1013 hPa)
<b>Densidad</b>	1,09 g/cm <sup>3</sup> (30°C)
<b>pH</b>	11
<b>Viscosidad cinemática</b>	357,2 mm <sup>2</sup> /s (30°C)

**Figura A1.3. Tabla de peligros de la DEA según el GHS.**

<b>Información de seguridad según el GHS</b>	
<b>Pictogramas de peligro</b>	
<b>Declaraciones de peligro</b>	H302: Nocivo en caso de ingestión. H315: Provoca irritación cutánea. H318: Provoca lesiones oculares graves. H373: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas en caso de ingestión. H412: Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
<b>Consejos de precaución</b>	P273: Evitar su liberación al medio ambiente. P280: Llevar gafas de protección. P302 + P352: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes. 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. P314: Consultar a un médico en caso de malestar.
<b>Palabra de señalización</b>	Peligro
<b>RTECS</b>	KL2975000
<b>Clase de almacenamiento</b>	10 - 13 Otros líquidos y sustancias sólidas
<b>WGK</b>	WGK 1 contamina ligeramente el agua
<b>Eliminación</b>	3 Los reactivos orgánicos líquidos relativamente no reactivos desde el punto de vista químico se recogen en la categoría A. Si contienen halógenos se les asigna la categoría B. Residuos sólidos: categoría C.

**Figura A1.4. Información de seguridad. Frases R/S**

Información de seguridad	
Simbolos de riesgo y peligrosidad	 Harmful
Categorías de peligro	nocivo, irritante
Frase R	R 22-38-41-48/22-52/53 Nocivo por ingestión.Irrita la piel.Riesgo de lesiones oculares graves.Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
Frase S	S 26-36/37/39-46-61 En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muéstresele la etiqueta o el envase.Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

### A1.2.3 CAUDALES DE AGUA Y DEA NECESARIOS

El siguiente cálculo a tener en cuenta será el de obtener el caudal de DEA necesario para la absorción con las condiciones de diseño fijadas, para así poder diseñar la columna. Como la DEA va a introducirse a la columna como disolución, se tendrá que obtener también el caudal de agua necesario.

La nomenclatura usada para denominar las 4 corrientes de la columna será:

- Corriente 1: Corriente de biogás por cola de columna. ( $G_1$ ).
- Corriente 2: Corriente de amina pobre por cabeza de columna. ( $L_2$ ).
- Corriente 3: Corriente de amina rica por cola de columna. ( $L_1$ ).
- Corriente 4: Corriente de biogás desulfurado por cabeza de columna. ( $G_2$ ).

La determinación de la concentración de DEA se ha hecho buscando un buen compromiso entre el consumo de energía, la disminución de la corrosión y un rendimiento maximizado.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Como se ha expuesto en la memoria, por estudios previos y datos bibliográficos, se llega a un punto común que establece la concentración óptima de DEA en valores que van desde el 12% hasta el 25% dependiendo de la operación de absorción a llevar a cabo, en este caso se ha optado por usar una disolución de DEA al 20% en peso. En los requisitos de diseño expuestos en la memoria también se determina que por convención bibliográfica y precedentes, la relación molar de gas ácido por mol de amina debe encontrarse como máximo en 0,6 e idealmente en 0,4. De este modo, se establece en 0,4 la que se tomará para el diseño de esta columna. La disminución de esta relación supondrá por un lado la minimización del riesgo de corrosión de la amina a las tuberías o al acero de la columna, pero por el contrario supondrá también un incremento de la relación de recirculación de DEA a la columna. Haciendo uso de la **ecuación A1.2** se calculan los moles necesarios de DEA para la desulfuración:

$$Mol\ DEA = \frac{G_1 \cdot y_1}{\frac{mol\ H_2S}{mol\ DEA}} = \frac{206,16 \cdot 0,001}{0,40} = 0,5154\ kmol\ DEA/h\ (Ec.\ A1.2)$$

Donde  $G_1$  representa el caudal molar de gas en cola de columna (entrada) e  $y_1$  la fracción molar de  $H_2S$  en el biogás. Se obtiene así una necesidad de 0,5154 kmol DEA/h.

Y con la **ecuación A1.3** podemos calcular el caudal másico de DEA necesario:

$$m_{DEA} = PM_{DEA} \cdot mol\ DEA = 105,14 \cdot 0,5154 = 54,18\ kg\ DEA/h\ (Ec.\ A1.3)$$

Como se ha expuesto antes, la DEA va a introducirse a la columna en disolución al 20% en peso, junto con agua. Es decir, se va a introducir 4 veces más agua que DEA en la columna (en peso). Así pues, con la **ecuación A1.4** obtenemos el caudal másico de agua necesario, seguidamente con la **ecuación A1.5** obtenemos el caudal molar de agua y con la **ecuación A1.6** se puede obtener definitivamente el caudal de líquido por cabeza de columna ( $L_2$ ):

$$m_{H_2O} = 4 \cdot m_{DEA} = 4 \cdot 54,18 = 216,75\ kg\ H_2O/h\ (Ec.\ A1.4)$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$Mol H_2O = \frac{m_{H_2O}}{PM_{H_2O}} = \frac{216,75}{18,01} = 12,03 \text{ kmol } H_2O/h \quad (Ec. A1.5)$$

$$L_2 = Mol DEA + mol H_2O = 0,5154 + 12,03 = 12,55 \text{ kmol}/h \quad (Ec. A1.6)$$

Donde:

- $m_i$ : Caudal másico del compuesto i (kg/h)
- $PM_i$ : Peso molecular del compuesto i (g/mol)

De esta forma, queda definida la corriente de líquido por cabeza de columna necesaria para la absorción. Además, al igual que con el biogás, se puede obtener un peso molecular medio para la disolución de amina, que resulta en:  $PM_{medioDEA}=21,4952$  g/mol.

## A2. ANEXO II: DISEÑO DE LA COLUMNA DE RELLENO

### A2.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se detallará el proceso de obtención de las variables de diseño de la columna de relleno objeto de este proyecto técnico. Este proceso constará de varias fases, teniendo en primer lugar que acabar de caracterizar todas las corrientes del proceso, haciendo uso para ello de las especificaciones de diseño que se detallaron en la memoria descriptiva, así como de balances de materia y energía para obtener analíticamente ciertas variables. Después, se aplicarán las ecuaciones propias de transferencia de materia para determinar de forma analítica el diámetro y la altura de la columna de relleno, analizando por último variables consideradas del diseño hidrodinámico de la columna, como son el espesor del acero, los tipos de coberturas de columna y algunos detalles más que comprende su diseño más detallado.

En primer lugar, resumiremos los datos obtenidos en el Anexo I de las corrientes 1 y 2 de la columna de absorción, en las **Tablas A2.1, A2.2, A2.3, A2.4** se detallan los datos de condiciones y composición de los que se dispone.

**Tabla A2.1. Condiciones de la corriente 1.**

	Temperatura (°C)	Presión (mbar)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad (cP)	Peso molecular (g/mol)	Caudal molar (kmol/h)
<b>CORRIENTE 1</b>	32	30	1,1917	1,05	23,1605	206,16

**Tabla A2.2. Composición de la corriente 1.**

Componentes	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	DEA	TOTAL
Fracción molar	0,001	0,268	0,4901	0,19	0,0509	0	0	1
Caudal molar (kmol/h)	0,206	55,25	101,3	39,17	10,49	0	0	206,16

**Tabla A2.3. Condiciones de la corriente 2.**

	Temperatura (°C)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad (cP)	Peso molecular (g/mol)	Caudal molar (kmol/h)
CORRIENTE 2	30	1017	1,05	21,4952	12,55

**Tabla A2.4. Composición de la corriente 2.**

Componentes	H <sub>2</sub> O	DEA	TOTAL
Fracción molar	0,96	0,04	1
Caudal molar (kmol/h)	12,03	0,5154	12,55

Aplicando los requisitos de diseño detallados en la memoria, podemos obtener la composición que tendrá la corriente 4 (gas por cabeza de columna). En la memoria se ha establecido que en la corriente gaseosa por cabeza de columna se debía haber eliminado el 95% del H<sub>2</sub>S presente en el biogás de entrada. En las **tablas A2.5 y A2.6** se resumen las condiciones y composición de la corriente 4.

**Tabla A2.5. Condiciones de la corriente 4.**

	Temperatura (°C)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad (cP)	Caudal molar (kmol/h)
CORRIENTE 4	30	1,1917	1,05	205,95

**Tabla A2.6. Composición de la corriente 4.**

Componentes	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	DEA	TOTAL
Fracción molar	5·10 <sup>-5</sup>	0,2682	0,491	0,19	0,05	0	0	1
Caudal molar (kmol/h)	2,06·10 <sup>-4</sup>	55,25	101,3	39,17	10,49	0	0	205,95

## A2.2 BALANCES DE MATERIA

La caracterización de la corriente 3 (salida de amina rica por cola de columna,  $L_1$ ) se realiza con sencillos balances de materia a la columna.

Planteando un balance de materia general:

$$E - S + G = A \quad (\text{Ec. A2.1})$$

Donde:

- E: Entrada de materia al sistema.
- S: Salida de materia del sistema.
- G: Generación en el sistema (reacciones químicas).
- A: Acumulación del sistema.

Teniendo en cuenta que el sistema trabaja en estado estacionario ( $A=0$ ) y que podemos despreciar la generación por reacciones químicas ( $G=0$ ) el balance de materia queda:

$$E=S$$

Que aplicado al sistema en estudio sería:

$$G_1+L_2=G_2+L_1 \text{ (kmol/h)}$$

$$L_1=G_1+L_2-G_2=206,16+12,55-205,95=12,76 \text{ kmol/h}$$

Para obtener la composición de la corriente 3, se aplica un balance de materia por componente a la columna, que sería:

$$G_1y_1+L_2x_2=G_2y_2+L_1x_1$$

$$x_1 = \frac{G_1y_1 + L_2x_2 - G_2y_2}{L_1} \quad (\text{Ec. A2.2})$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Así, particularizando la ecuación A2.2 para el H<sub>2</sub>S, el H<sub>2</sub>O y la DEA, se obtiene la composición de la corriente 3 de la columna (L<sub>1</sub>)(Tabla A2.7):

**Tabla A2.7. Composición de la corriente 3.**

Componentes	H <sub>2</sub> O	DEA	H <sub>2</sub> S	TOTAL
Fracción molar	0,94	0,039	0,0153	1
Caudal molar (kmol/h)	11,99	0,497	0,1952	12,76

En resumen, tras los datos experimentales de los que se dispone, las aproximaciones hechas respecto a los requisitos de diseño marcados y los balances de materia planteados, en la **Tabla A2.8** se detalla la composición de las cuatro corrientes de la columna.

**Tabla A2.8. Composiciones de las corrientes de la columna.**

CORRIENTE		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	DEA	TOTAL
CORRIENTE 1 (G <sub>1</sub> )	Caudal molar (Kmol/h)	0,206	101,3	55,25	39,17	10,49	-	-	206,16
	Fracción molar	0,001	0,49	0,268	0,19	0,0509	-	-	1
CORRIENTE 2 (L <sub>2</sub> )	Caudal molar (kmol/h)	-	-	-	-	-	12,03	0,5154	12,55
	Fracción molar	-	-	-	-	-	0,96	0,04	1
CORRIENTE 3 (L <sub>1</sub> )	Caudal molar (kmol/h)	0,1952	-	-	-	-	11,99	0,497	12,76
	Fracción molar	0,0161	-	-	-	-	0,94	0,039	1
CORRIENTE 4 (G <sub>2</sub> )	Caudal molar (kmol/h)	0,010	101,3	55,25	39,17	10,49	-	-	205,95
	Fracción molar	5·10 <sup>-5</sup>	0,491	0,2682	0,19	0,05	-	-	1

### A2.3 BALANCES DE ENERGÍA

Mediante balances de energía podrán determinarse las temperaturas de las corrientes de entrada y salida a la columna.

Por datos experimentales y de proceso, se sabe que la temperatura de entrada del gas a la columna es de 32°C. Y por heurística bibliográfica, se recomienda que la disolución de amina entre a la columna a una temperatura similar a la entrada del gas. Si entra a una temperatura elevada, se puede producir fácilmente evaporación del disolvente.

Por tanto, la disolución de amina es preparada con un intercambiador de calor para entrar a la columna a 30°C.

La reacción entre la dietanolamina y el H<sub>2</sub>S es una reacción exotérmica y su calor de reacción es  $\Delta R_{e_{acción}}=1190 \text{ kJ/kg H}_2\text{S}$ , como se muestra en la **Figura A2.1**:

**Figura A2.1. Calor de reacción DEA-H<sub>2</sub>S**

	MEA	DEA	MDEA
Poids moléculaire (amine pure)	62,1	105,1	119,2
Chaleur de réaction :			
H <sub>2</sub> S (kJ/kg H <sub>2</sub> S)	1450	1190	950
CO <sub>2</sub> (kJ/kg CO <sub>2</sub> )	1915	1520	950

Siguiendo un modelo adiabático clásico para simplificar los cálculos, consideraremos que la temperatura del gas a la salida es prácticamente igual a su entrada, y que todo el calor generado en la columna es absorbido por el líquido, pudiendo calcularse esta cantidad de calor mediante:

$$Q = \Delta H^{\circ}_{reacción} \cdot [PM_{H_2S} \cdot (G_1 \cdot y_1)] \quad (Ec. A2.3)$$

Donde:

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$\Delta H^{\circ}_{\text{Reacción}}$  : Calor de reacción entre el soluto y el solvente (kJ/kg H<sub>2</sub>S).

PM: Peso molecular (kg/kmol).

G<sub>1</sub>: Caudal molar del gas a la entrada (kmol/h).

y<sub>1</sub>: Fracción molar del soluto en la corriente de entrada.

$$Q = 1190 \cdot [34,0799 \cdot (206,16 \cdot 0,001)] = 8360,83 \text{ kJ/h}$$

Y el aumento de la temperatura producido en la corriente líquida del absorbedor se calcula mediante la expresión:

$$\Delta T = \frac{Q}{C_p \cdot L_2 \cdot PM_{L2}} \quad (\text{Ec. A2.4})$$

Donde:

Q: Calor producido en el absorbedor (kJ/kg H<sub>2</sub>S).

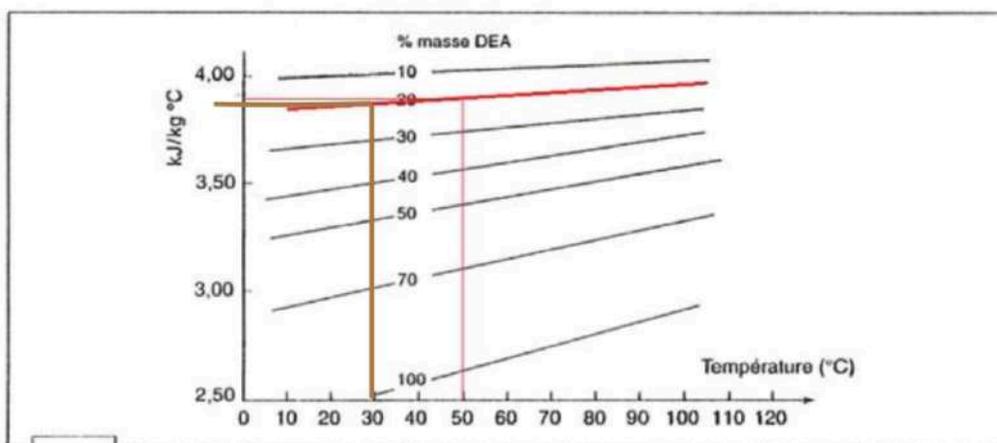
C<sub>p</sub>: Calor específico de la disolución de DEA (kJ/kg°C).

L<sub>2</sub>: Caudal molar del líquido (kmol/h).

PM<sub>L2</sub>: Peso molecular de la corriente líquida (kg/kmol).

El calor específico de la disolución puede calcularse mediante la gráfica expuesta en la figura A2.2:

**Figura A2.2. Calor específico de disoluciones con DEA.**



Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

De donde se obtiene  $C_p=3,85$  kJ/kg°C.

Por tanto, el cálculo del incremento de temperatura será:

$$\Delta T = \frac{8360,63}{(3,85) \cdot (12,55) \cdot (21,4952)} = 8,05^\circ C$$

Y por último, ya se puede obtener la temperatura de la corriente líquida a la salida:

$$T_{L1} = T_{L2} + \Delta T = 30 + 8,05 = 38,05^\circ C \quad (Ec. A2.5)$$

## A2.4 CURVA DE OPERACIÓN

La representación de la variación de la fracción molar del soluto ( $H_2S$ ) en estado gaseoso frente a su fracción molar en estado líquido dará como resultado la curva de operación.

Para ello, se van suponiendo valores de  $y_1$  (fracción molar del  $H_2S$  en la corriente 1) y calculando los correspondientes a  $x_1$  haciendo uso de balances de materia consecutivos. El valor mas bajo que se tomará para  $y_1$  será 0 (valor mas pequeño que puede alcanzar la fracción molar del  $H_2S$  en estado gaseoso) hasta 0,001 (valor máximo de la fracción molar del  $H_2S$  en estado gaseoso, es decir, lo que entra a depurar).

Los balances de materia y componente que se realizarán de forma consecutiva a distintos valores de la fracción molar del  $H_2S$  en el gas de entrada ( $y_1$ ) quedarán definidos así:

- Considerando que el resto de gases son inertes (no sufren reacción ni cambio alguno en la columna) se puede plantear un balance al gas inerte, que quedaría:

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$G_1 \cdot (1 - y_1) = G_2 \cdot (1 - y_2) \quad (\text{Ec.A2.6})$$

De la **ecuación A2.6** podemos obtener  $G_1$  con cada variación en la composición de sulfhídrico. Es decir, suponiendo una concentración nula de sulfhídrico,  $G_1$  tendría el mismo valor que  $G_2$ , ya que no existiría ninguna transferencia de materia en la columna.

- Una vez se obtiene el caudal de entrada para cada valor de soluto supuesto, se plantea un balance de materia global para obtener el valor del caudal  $L_1$ :

$$\begin{aligned} G_1 + L_2 &= G_2 + L_1 \\ L_1 &= G_1 + L_2 - G_2 \end{aligned} \quad (\text{Ec.A2.7})$$

- Y por último, se planteará un balance por componente al  $\text{H}_2\text{S}$  para obtener el valor de  $x_1$  correspondiente a cada valor de  $y_1$ :

$$G_1 \cdot y_1 + L_2 \cdot x_2 = G_2 \cdot y_2 + L_1 \cdot x_1 \quad (\text{Ec.A2.8})$$

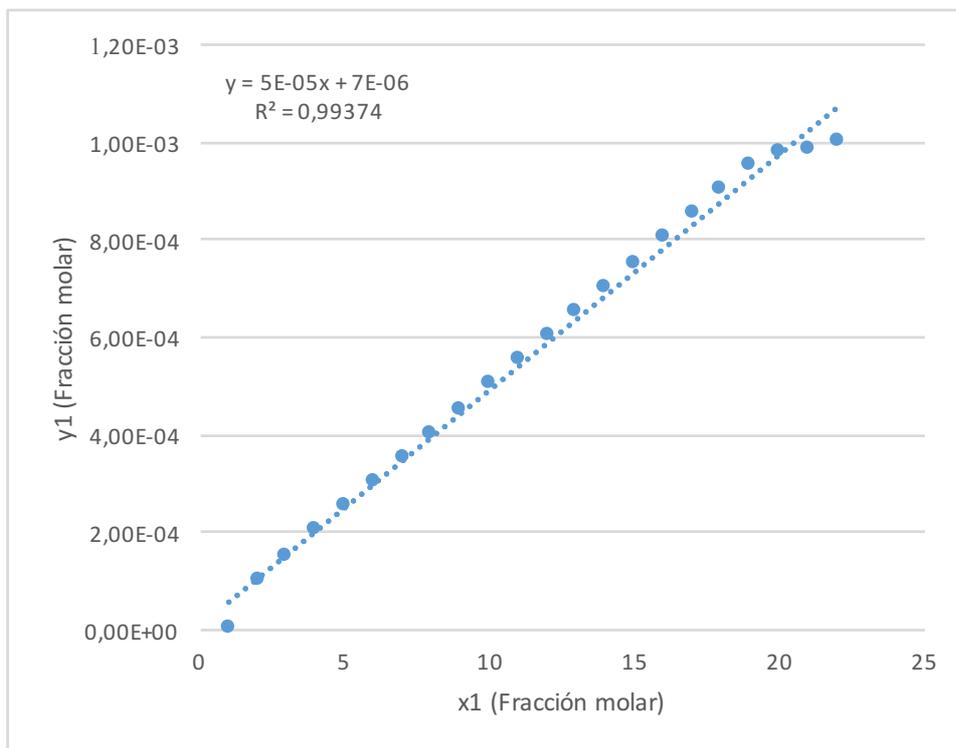
En la tabla A2.9 se muestran los datos obtenidos suponiendo valores de la fracción molar del sulfhídrico en el gas desde 0 hasta 0,001:

**Tabla A2.9. Datos obtenidos para la curva de operación.**

$y_1$	$G_1$ (kmol/h)	$L_1$ (kmol/h)	$x_1$
0,00E+00	205,95	12,55	0
1,00E-04	205,97	12,57	0,0016
1,50E-04	205,98	12,58	0,0024
2,00E-04	205,99	12,59	0,0032
2,50E-04	206,00	12,60	0,0040
3,00E-04	206,01	12,61	0,0048
3,50E-04	206,02	12,62	0,0056
4,00E-04	206,03	12,63	0,0065
4,50E-04	206,04	12,64	0,0073
5,00E-04	206,05	12,65	0,0081
5,50E-04	206,06	12,66	0,0089
6,00E-04	206,07	12,67	0,0097
6,50E-04	206,08	12,68	0,0105
7,00E-04	206,09	12,69	0,0113
7,50E-04	206,10	12,70	0,0121
8,00E-04	206,11	12,71	0,0129
8,50E-04	206,12	12,72	0,0137
9,00E-04	206,13	12,73	0,0145
9,50E-04	206,14	12,74	0,0153
9,75E-04	206,15	12,75	0,0157
9,80E-04	206,15	12,75	0,0158
1,00E-03	206,16	12,76	0,0161

La representación gráfica de esta tabla (Gráfica A2.1), colocando en el eje de abscisas la concentración de sulfhídrico en el líquido y en el eje de ordenadas su respectiva concentración en el gas, confirma que se ajusta a una línea, dando un coeficiente de regresión lineal  $R^2=0.99374$ .

**Gráfica A2.1. Curva de operación.**

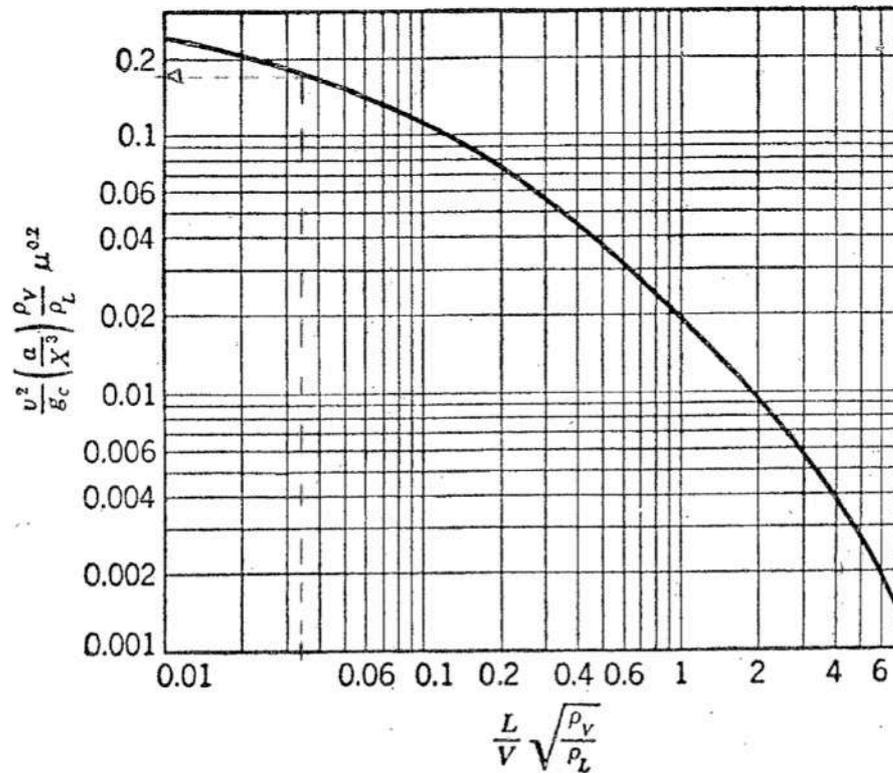


## A2.5 CÁLCULO DEL DIÁMETRO.

Como se detalla en la memoria descriptiva de este proyecto, para el cálculo del diámetro se ha recurrido a la correlación de Lobo, la cual hace uso de la velocidad de anegamiento de la columna para determinar el diámetro necesario para mantener el anegamiento en unos límites adecuados.

Es decir, a la hora de diseñar un equipo de este tipo, lo primero que debe de tenerse en cuenta es que el parámetro que se diseñará teniendo en cuenta la velocidad de transferencia de materia será la altura, pero en cambio el diámetro solo vendrá determinado por los caudales de gas y líquido en la columna y sus densidades. Y además en este caso al usar la gráfica de Lobo se tendrán en cuenta factores específicos del relleno usado. En la figura A2.3 se muestra la gráfica de Lobo.

Figura A2.3. Gráfica de Lobo



En primer lugar se obtiene el valor adimensional del eje de abscisas haciendo uso de la relación:

$$\frac{L}{V} \cdot \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}} \quad (Ec. A2.9)$$

Donde:

L: Caudal másico de líquido en la columna. [L=269,76 kg/h]

V: Caudal másico de gas en la columna. [V=4774,80 kg/h]

$\rho_v$ : Densidad del vapor. [ $\rho_v=1,1917 \text{ kg/m}^3$ ]

$\rho_L$ : Densidad del líquido. [ $\rho_L=1017 \text{ kg/m}^3$ ]

Obteniendo así:

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$\frac{269,76}{4774,80} \cdot \sqrt{\frac{1,1917}{1017}} = 0,0019$$

Trazando la vertical en la gráfica de Lobo, se obtiene un valor en el eje de ordenadas de 0,24. Igualando este valor a la ecuación que se expone en la gráfica de Lobo, se obtiene:

$$0,24 = \frac{v^2}{g} \left( \frac{a}{X^3} \right) \frac{\rho_V}{\rho_L} \cdot \mu^{0,2} \quad (\text{Ec. A2.10})$$

Donde:

a: Factor de superficialidad por volumen del relleno. [a=341 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>]

X: Fracción de espacio vacío que deja el relleno. [X=0,87]

g: Aceleración de la gravedad. [g=9,81 m/s<sup>2</sup>]

ρ<sub>V</sub>: Densidad del vapor. [ρ<sub>V</sub>=1,1917 kg/m<sup>3</sup>]

ρ<sub>L</sub>: Densidad del líquido. [ρ<sub>L</sub>=1017 kg/m<sup>3</sup>]

μ: Viscosidad del líquido. [μ=1,05 cP]

v: Velocidad superficial del vapor (m/s)

Con todos esos datos, se puede obtener:

$$v = \frac{Q_G}{S} = 1,9601 \frac{m}{s} \quad (\text{Ec. A2.11})$$

Se obtiene un valor de velocidad superficial del vapor de 1,9601 m/s, con el cual se puede obtener el valor de la superficie de la columna para esa velocidad superficial, obteniéndose:

$$S = 0,5678 m^2 = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (\text{Ec. A2.12})$$

Obteniéndose finalmente un diámetro de **D= 0,8502 m= 850,2 mm=**".

## A2.6 CÁLCULO DE LA ALTURA DE RELLENO.

### A2.6.1. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA $k_G$

El cálculo se hará recurriendo a una expresión que puede derivarse de una columna de pared mojada, teniendo en cuenta variables como el número adimensional de Reynolds, el diámetro de la columna y el coeficiente de difusividad del soluto.

$$\frac{D}{z_G} = B \cdot Re^{0,83} \quad (Ec. A2.13)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds (adimensional).

D: Diámetro de la columna (m).

$z_G$ : Espesor de la película de gas (m).

B: Constante adimensional del proceso para pared mojada. (El valor se toma de la bibliografía, se toma un valor medio de  $B=0,023$ ).

El valor del espesor de la película de gas es difícil de obtener, por lo que es conveniente eliminarlo mediante las siguientes correlaciones:

$$k_G = \frac{D_V \cdot P}{R \cdot T \cdot z_G \cdot P_{Bm}} \quad (Ec. A2.14)$$

$$\frac{1}{z_G} = \frac{k_G \cdot R \cdot T \cdot P_{Bm}}{D_V \cdot P} = \frac{h_D \cdot P_{Bm}}{D_V \cdot P} \quad (Ec. A2.15)$$

Entonces:

$$\frac{D \cdot h_D \cdot P_{Bm}}{D_V \cdot P} = B \cdot Re^{0,83} \quad (Ec. A2.16)$$

Donde:

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$h_D$ : Coeficiente de transferencia de materia con la fuerza impulsora expresada en forma de concentraciones molares.

R: Constante de los gases ideales ( $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}\cdot\text{K}$ ).

T: Temperatura (K).

$D_V$ : Coeficiente de difusión del sulfhídrico en  $\text{m}^2/\text{s}$ .

Para tener en consideración las variaciones de las propiedades físicas, se introduce el número de Schmidt:

$$Sc = \frac{\mu}{\rho \cdot D_V} \quad (\text{Ec. A2.17})$$

Que finalmente permite reordenar la expresión final como:

$$\frac{h_D}{v} \cdot \frac{P_{Bm}}{P} \cdot \left( \frac{\mu}{\rho \cdot D_V} \right)^{0,56} = B \cdot Re^{-0,17} = j_D \quad (\text{Ec. A2.18})$$

Donde:

$P_{Bm}$ : Media logarítmica de las presiones parciales (atm).

P: Presión total del sistema (atm).

$j_D$ : Coeficiente de fricción debido a la pared mojada.

$h_D$ : Coeficiente de transferencia de materia con la fuerza impulsora expresada en forma de concentraciones molares.

$D_V$ : Coeficiente de difusión del sulfhídrico ( $1,26 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

Re: Número de Reynolds (adimensional).

B: Constante adimensional del proceso para pared mojada. (El valor se toma de la bibliografía, se toma un valor medio de  $B=0,023$ ).

$\mu$ : Viscosidad del gas ( $1,14 \cdot 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}$ ).

$\rho$ : Densidad del gas ( $1,1917 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

v: Velocidad del gas ( $1,9601 \text{ m}/\text{s}$ ).

Por tanto:

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$\left(\frac{\mu}{\rho \cdot D_V}\right)^{0,56} = \left(\frac{1,14 \cdot 10^{-5}}{(1,1917) \cdot 1,26 \cdot 10^{-5}}\right)^{0,56} = 0,8570 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{kg}$$

El cálculo del número adimensional de Reynolds es:

$$Re = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu} = \frac{(1,9601) \cdot (1,1917) \cdot (0,8502)}{(1,14 \cdot 10^{-5})} = 1,74 \cdot 10^5 \quad (\text{Ec. A2.19})$$

El coeficiente de fricción será:

$$j_D = B \cdot Re^{-0,17} = 0,023 \cdot (1,74 \cdot 10^5)^{-0,17} = 2,9568 \cdot 10^{-3}$$

Con la expresión (Ec.A2.20):

$$\frac{k_G \cdot R \cdot T \cdot P_{Bm}}{D_V \cdot P} = \frac{h_D \cdot P_{Bm}}{D_V \cdot P} \quad (\text{Ec. A2.20})$$

Y el valor obtenido para el coeficiente de fricción, junto con la ya expuesta ecuación A2.18, da el resultado del coeficiente de transferencia de materia:

$$\frac{h_D}{v} \cdot \frac{P_{Bm}}{P} = \frac{j_D}{\left(\frac{\mu}{\rho \cdot D_V}\right)^{0,56}} = \frac{2,9568 \cdot 10^{-3}}{0,8570} = 3,4502 \cdot 10^{-3}$$

$$h_D \cdot \frac{P_{Bm}}{P} = 3,4502 \cdot 10^{-3} \cdot v = (3,4502 \cdot 10^{-3}) \cdot (1,9601) = 0,00676$$

$$k_G = \frac{h_D}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{Bm}}{P} = \frac{\left(h_D \cdot \frac{P_{Bm}}{P}\right)}{R \cdot T} = \frac{0,00676}{8,314 \cdot 305} = 2,66 \cdot 10^{-6} \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$$

Y cambiando las unidades de la expresión:

$$k_G = 1,151 \cdot 10^{-4} \text{ kmol H}_2\text{S}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

#### A2.6.2. CÁLCULO DEL NUT Y HUT.

La obtención de la altura de relleno puede simplificarse a la obtención del NUT y HTU, ambos valores multiplicados dan como resultado la altura de relleno necesaria para una operación de absorción en concreto (**Ec.A2.21**)(**Ec.A2.22**).

$$h = H_{GT} \cdot N_{GT} = H_{LT} \cdot N_{LT} \quad (\text{Ec. A2.21})$$

$$h = H_G \cdot N_G = H_L \cdot N_L \quad (\text{Ec. A2.22})$$

La **ecuación A2.21** hace referencia al calculo de las unidades totales, es decir, haciendo uso de los coeficientes globales de transferencia de materia y a las concentraciones de equilibrio. En cambio, la **ecuación A2.22** hace referencia a los coeficientes individuales de transferencia de materia y a las concentraciones en la interfase. Cual de las expresiones usar es indiferente, la decisión se tomará en base a los datos que se tienen y los que se pueden obtener en base a ellos.

El NUT (número de unidades de transferencia) es un valor adimensional que representa la dificultad en si para alcanzar la absorción deseada, es decir, el número de “unidades” ficticias que harían falta para lograr la separación deseada.

El HTU (altura de la unidad de transferencia) en cambio tiene unidades de longitud (m), y representa la altura necesaria que deberá tener cada una de esas unidades del NUT para lograr el proceso de absorción.

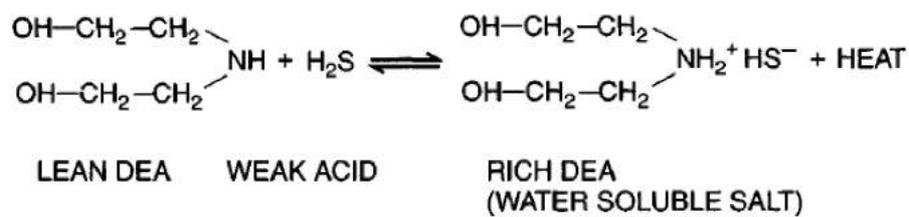
Las ecuaciones generales para el cálculo del NUT y el HTU en operaciones en las que los coeficientes de transferencia de materia se puedan considerar constantes y haciendo relación a la fase gas serian:

$$N_G = \int_2^1 \frac{(1+Y)(1+Y_i)}{(Y-Y_i)} dY \quad (\text{Ec. A2.23})$$

$$H_G = \frac{G'/S}{k_G \cdot a} \quad (\text{Ec. A2.24})$$

El caso en concreto que se estudia en esta columna es una absorción química que consideraremos de reacción instantánea. En la **figura A2.4** se muestra la reacción entre la DEA y el H<sub>2</sub>S.

**Figura A2.4** Reacción química entre la DEA y el H<sub>2</sub>S.



Las primeras simplificaciones que pueden hacerse por tratarse de una absorción química son:

- La concentración de soluto en la interfase gas-liquido es prácticamente nula en cualquier sección de la columna, al producirse una reacción química en el seno de la fase líquida que consideraremos instantánea:

$$Y_i \cong Y_e \cong 0$$

- Además, cuando se trabaja con mezclas diluidas (concentración del soluto menor al 10%) también se puede tomar la simplificación de que  $k_G = K_G$ .

De este modo, aplicando estas simplificaciones a la **ecuación A2.23** se llega a:

$$N_{GT} = N_G = \int_2^1 \frac{(1+Y)}{Y} dY$$

Integrando esta expresión:

$$N_{GT} = N_G = Y_1 - Y_2 + \ln \frac{Y_1}{Y_2} \quad (\text{Ec. A2.25})$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

La **ecuación A2.25** servirá para obtener el valor del NUT para el proceso de absorción en estudio, donde:

$Y_1$ : Razón molar del soluto en el gas a la entrada de la columna (kmol H<sub>2</sub>S/kmol biogás).

$Y_2$ : Razón molar del soluto en el gas a la salida de la columna (kmol H<sub>2</sub>S/kmol biogás).

Y aplicando las simplificaciones deducidas a la **ecuación A2.24** se llega a la **A2.26**:

$$H_{GT} = H_G = \frac{G'/S}{K_G \cdot a} \quad (\text{Ec. A2.26})$$

Donde:

$G'$ : Caudal molar de gas inerte (kmol/s).

$S$ : Superficie de la columna (m<sup>2</sup>).

$K_G$ : Coeficiente global de transferencia de materia (kmol/m<sup>2</sup>·s).

$a$ : Coeficiente de contacto del relleno (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>).

El proceso de obtención de la altura de relleno con el procedimiento y las ecuaciones detalladas aquí se desarrolla en el Anexo II de este proyecto, en la sección x.x.x, obteniendo un valor de relleno para el proceso de absorción estudiado de:

$$N_{GT} = 2,99 \text{ NUT}$$

$$H_{GT} = 2,5666 \text{ m}$$

$$h=7,6741 \text{ m}=7674,1\text{mm}$$

Es importante remarcar que la altura de relleno no supone la altura total de la torre, ya que se debe calcular la geometría de elementos como cubiertas, fondos y cabezas de columna, distribuidores de líquido y gas, rejillas de sujeción y otros elementos.

Seguidamente, se procede al cálculo del NUT (Número de unidades de transferencia) y HUT (altura de una unidad de transferencia) de la columna para determinar finalmente

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

la altura de relleno necesaria, haciendo uso de las ecuaciones ya expuestas anteriormente en la memoria:

$$h = H_{GT} \cdot N_{GT} = H_G \cdot N_G \quad (\text{Ec. A2.16})$$

Donde:

h: Altura de relleno de la columna (m).

$H_{GT}$ : Altura de la unidad de transferencia (m).

$N_{GT}$ : Numero de unidades de transferencia.

Siendo las ecuaciones usadas para su cálculo las siguientes, las cuales han sido deducidas de un modelo general para sistemas en los que se pueden considerar constantes los coeficientes de transferencia de materia, y además aplicando las simplificaciones adecuadas por tratarse de un sistema con reacción química, quedando:

$$N_{GT} = N_G = Y_1 - Y_2 + \ln \frac{Y_1}{Y_2} \quad (\text{Ec. A2.17})$$

$$H_{GT} = H_G = \frac{G'/S}{K_G \cdot a} \quad (\text{Ec. A2.18})$$

Donde:

$Y_1$ : Razón molar del soluto en el gas a la entrada de la columna (kmol H<sub>2</sub>S/kmol biogás). [ $Y_1=0,001$ ]

$Y_2$ : Razón molar del soluto en el gas a la salida de la columna (kmol H<sub>2</sub>S/kmol biogás). [ $Y_2=0,00005$ ]

$G'$ : Caudal molar de gas inerte (kmol/s). [ $G'=205,954 \text{ kmol/h}=0,0572 \text{ kmol/s}$ ]

S: Superficie de la columna (m<sup>2</sup>). [ $S=0,5678 \text{ m}^2$ ]

$K_G$ : Coeficiente global de transferencia de materia (kmol/m<sup>2</sup>·s). [ $k_G=1,151 \cdot 10^{-4} \text{ kmol} \cdot \text{H}_2\text{S}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ]

a: Coeficiente de contacto del relleno (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). [ $a=341 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ]

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

El cálculo del NUT, HUT y h será:

$$N_{GT} = 0,001 - 0,00005 + \ln \frac{0,001}{0,00005} = 2,99 \text{ NUT}$$

$$H_{GT} = \frac{0,0572 / 0,5678}{1,151 \cdot 10^{-4} \cdot 341} = 2,5666 \text{ m}$$

$$h = 2,99 \cdot 2,5666 = 7,6741 \text{ m}$$

Se obtiene por tanto un valor de 7,6741 m de relleno, 7674,1 mm de relleno.

## A2.7 DISEÑO MECÁNICO DE LA COLUMNA.

El diseño mecánico de la columna es el último paso en el diseño de esta, y comprenderá:

- Cálculo de la presión y temperatura de diseño.
- Cálculo del espesor de la envolvente.
- Diseño de los fondos Korbbogen.
- Distribución y localización de los accesorios de la columna.
- Distribución y localización de las entradas y salidas de las corrientes líquida y gaseosa a la columna.

### A2.7.1 CÁLCULO DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DE DISEÑO.

Para el cálculo de la presión de diseño se deben tener en cuenta varias consideraciones. En primer lugar, se deberá tener en cuenta el valor de la presión hidrostática aportado

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

por la columna de líquido que haya en la columna. Además, se decide realizar una aproximación empírica considerando que el relleno, que estará permanentemente dentro de la columna, también aportará una presión hidrostática similar a la de un fluido.

Del mismo modo, se aplicara un coeficiente de un 15% extra por seguridad, por posibles variaciones de presión que pudieran haber en la columna.

$$P_{\text{diseño}} = [P_{\text{hidrostática}} + P_{\text{relleno}} + P_{\text{atm}}] 1,15 \quad (\text{Ec. A2.19})$$

$$P_{\text{hidrostática}} = \rho_{\text{fluido}} \cdot g \cdot h \quad (\text{Ec. A2.20})$$

$$P_{\text{relleno}} = \rho_{\text{relleno}} \cdot g \cdot h \quad (\text{Ec. A2.21})$$

Haciendo uso de las ecuaciones A2.20 y A2.21, y aplicando un coeficiente de reducción del 10% a la altura de líquido por la ocupación del relleno, se obtiene:

$$1017 \cdot 9,81 \cdot (7,6741 \cdot 0,9) = 68906,45 \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2 = 0,6890 \text{ bar}$$

$$112 \cdot 9,81 \cdot 7,6741 = 8431,68 \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2 = 0,08431 \text{ bar}$$

Y aplicando la ecuación A2.19 se obtiene:

$$P_{\text{diseño}} = 2,054 \text{ bar}$$

Para el cálculo de la temperatura de diseño, se sumará a la temperatura máxima de operación un total de 20°C extra que es el valor que tradicionalmente se establece como norma para este tipo de recipientes. Además, se decide que a la temperatura máxima de operación obtenida en este estudio, se debe aplicar también un extra de 10°C por si hubieran variaciones en la producción que generarán un aumento de la temperatura:

$$T_{\text{diseño}} = T_{\text{operación}} + 10^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} \quad (\text{Ec. A2.22})$$

Que sustituyendo la temperatura de operación que es de 38°C, se obtiene:

$$T_{\text{diseño}}=68^{\circ}\text{C}$$

#### A2.7.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE.

Se denomina envoltente a la capa de material (en este caso acero) que conforma la parte cilíndrica de la columna. Este cálculo tiene gran importancia, pues habrá que considerar factores como la presión de diseño, el tipo de soldadura a aplicar en los accesorios superiores e inferiores, el límite elástico del material a usar y el posible espesor que debe tomarse por seguridad ante la posible corrosión.

El diseño de los tanques se realiza de acuerdo con la normativa de equipos a presión recogida en el código ASME (American Society of Mechanical Engineers, Code for Pressure Vessels, sección VIII, división 1), donde se expone la siguiente expresión para el cálculo del espesor de la envoltente de un recipiente sometido a presión interna (Ec.A2.23):

$$e = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad (\text{Ec. A2.23})$$

Donde:

P: Presión de diseño (bar).

R: Radio de la estructura cilíndrica (mm).

S: Límite elástico del material (Para el acero al carbono 1650 kg/cm<sup>2</sup>).

E: Eficiencia de las juntas. En este caso se aplicará una soldadura por puntos (E=0,85).

C<sub>1</sub>: Sobre espesor por corrosión. Para el acero al carbono C<sub>1</sub>=6 mm.

C<sub>2</sub>: Corresponde al 10% del valor obtenido sin contar C<sub>2</sub> (Coeficiente de seguridad).

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$e = \frac{2,054 \cdot 425,1}{1650 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2,054} + 6mm = 6,62 mm$$

$$C_2 = (6,62) \cdot 0,10 = 0,66 mm$$

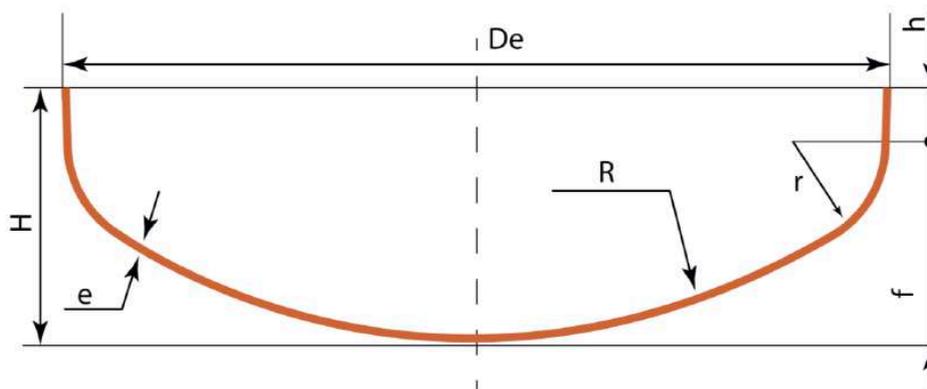
$$e = 6,62 + 0,66 = 7,28 mm \cong 7,5 mm$$

### A2.7.3 DISEÑO DE LOS FONDOS.

Como se ha detallado en la memoria, los fondos elegidos han sido los de tipo Korbboegen. A continuación se detalla el proceso de diseño de los fondos para la columna. Es importante remarcar que se va a optar por un espesor para los fondos igual al de la envolvente, ya que por convención nominal será más sencillo la adaptación de todos los elementos, aunque si no fuera posible encontrar unos fondos con esa característica, se podría reducir el espesor manteniendo el resto de variables que a continuación se detallan.

La figura A2.5 muestra las variables que definen el diseño de un fondo Korbboegen:

**Figura A2.5. Variables de diseño de un fondo Korbboegen.**



Donde:

De: Diámetro externo (m).

R: Radio de la corona (m).

r: Radio del codillo (m).

h: Altura de la faldilla (m).

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

H: Altura total del fondo (m).

Se diseñará solo un fondo, ya que se realizarán dos idénticos para la parte superior e inferior.

Las ecuaciones que definen el proceso de diseño del fondo son:

$$D_e = D_i + 2 \cdot e \quad (\text{Ec. A2.24})$$

$$R = 0,8 \cdot D_e \quad (\text{Ec. A2.25})$$

$$r = 0,15 \cdot D_e \quad (\text{Ec. A2.26})$$

$$H = 0,255 \cdot D_e + h + e \quad (\text{Ec. A2.27})$$

La faldilla es la parte que une la parte elíptica del fondo Korbogen con el cilindro de la envolvente. De acuerdo a la norma ASME, se establecen tres restricciones para seleccionar una altura de faldilla, se seleccionará la más restrictiva de las tres, es decir, la que marque una altura de faldilla mayor:

$$h \geq 0,3 \cdot \sqrt{D_e \cdot e} \quad (\text{Ec. A2.28})$$

$$h \geq 3 \cdot e \quad (\text{Ec. A2.29})$$

$$h \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{Ec. A2.30})$$

Se calcula así en primer lugar la altura de faldilla necesaria:

$$h \geq 0,3 \cdot 80,07 = 24,02 \text{ mm}$$

$$h \geq 3 \cdot 7,5 = 22,5 \text{ mm}$$

$$h \geq 25 \text{ mm}$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Por tanto, se selecciona la mas restrictiva: **h=25 mm.**

Ahora se pueden calcular el resto de variables de diseño:

$$D_e = 0,852 + 2 \cdot 0,0075 = 0,867 \text{ m}$$

$$R = 0,8 \cdot 0,867 = 0,693 \text{ m}$$

$$r = 0,15 \cdot 0,867 = 0,13 \text{ m}$$

$$H = 0,255 \cdot 0,867 + 0,025 + 0,0075 = 0,253 \text{ m}$$

De esta manera, queda definido el diseño de los fondos Korbogen.

#### A2.7.4 ALTURA TOTAL DE LA COLUMNA.

Por último, ya puede calcularse la altura total de la columna. Para ello, se deberán sumar las alturas de los dos lechos de relleno, el espacio entre ambos lechos, las alturas de los dos fondos Korbogen y las alturas de los accesorios seleccionados.

En la **tabla A2.10** se muestra la altura total de la parte cilíndrica de la columna, no se ha tenido en cuenta para esta zona ni el distribuidor superior del líquido ni el distribuidor inferior del gas, ya que irán situados en el volumen libre de los fondos:

**Tabla A2.10. Alturas de la sección cilíndrica.**

<b>Altura lechos</b>	<b>2 x 3,837m</b>
<b>Distancia entre lechos</b>	<b>15cm</b>
<b>Altura distribuidor líquido intermedio</b>	<b>17cm</b>
<b>Altura eliminador de niebla superior</b>	<b>8cm</b>
<b>Altura rejas soporte de relleno</b>	<b>2 x 5cm</b>
<b>ALTURA TOTAL SECCIÓN CILÍNDRICA</b>	<b>8,174m</b>

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Y en la **tabla A2.11** se detalla la altura de los fondos, la altura total de la sección cilíndrica y la altura total de la torre:

**Tabla A2.11. Alturas de fondos, sección cilíndrica y total.**

<b>Altura fondos Korbbogen</b>	<b>2 x 0,253m</b>
<b>Altura sección cilíndrica</b>	<b>8,174m</b>
<b>ALTURA TOTAL COLUMNA</b>	<b>8,68m</b>

## A3. ANEXO III: DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

### A3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente documento Anexo se va a llevar a cabo el diseño del intercambiador de calor amina-amina necesario para adecuar las corrientes tanto a la entrada del absorbedor como a la entrada del regenerador.

Para el diseño del intercambiador se aplicarán las normas TEMA, de uso muy habitual en el diseño de este tipo de equipos en la industria.

El intercambiador de calor a diseñar, como se ha detallado en el análisis de la memoria descriptiva, será un intercambiador de calor de carcasa y tubos, tipo 1-2 (1 paso en la coraza y 2 pasos en los tubos).

Además, durante los cálculos se observa la necesidad técnica de instalar un segundo intercambiador complementario para suplir las necesidades requeridas en el proceso, por lo que el diseño de este segundo intercambiador también se abordará en este documento Anexo.

En este documento se detallarán todos los cálculos necesarios para la obtención de la geometría que determinará el diseño de los intercambiadores.

Además, dado que se hacen uso de algunas suposiciones, se decide realizar una simulación informática en estado estacionario de los equipos diseñados en este Anexo para confirmar que dichas suposiciones son correctas. Para la simulación en estado estacionario se hace uso del software ProSim Plus 3.

### A3.2 CORRIENTES DEL INTERCAMBIADOR Y PROPIEDADES

En primer lugar se deben determinar las características de las corrientes que se introducirán al intercambiador, siendo algunas de ellas una recopilación de datos ya expuestos anteriormente en este proyecto, y otras nuevas características que en algunos casos han sido supuestas y en otro han sido obtenidas de la bibliografía.

Las corrientes son:

- Corriente 1 (Fluido a): Es el fluido frío que se calentará en el intercambiador, en este caso, es la disolución de amina que sale de la columna de absorción y se dirige al regenerador.
- Corriente 2 (Fluido b): Es el fluido que se enfriará en el intercambiador, en este caso, es la disolución de amina limpia que sale del regenerador y se dirige a la columna de absorción.

**Tabla A3.1. Propiedades de los fluidos.**

Variables	FLUIDO "a"	FLUIDO "b"
$T_{be}$ (°C)	38,05	70
$\mu$ (cP)	1,05	1,05
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1017	1017
$C_p$ (kJ/kg·K)	4,085	4,085
$m$ (kg/h)	274,27	269,76
<b>Posición en el intercambiador</b>	Interior de los tubos	Coraza

### A3.3 CÁLCULOS DEL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR

En este apartado se detallarán los cálculos realizados para obtener las variables de diseño del intercambiador de calor. Se han seguido en todo momento las directrices y simplificaciones que establece la norma TEMA para el diseño de este tipo de equipos.

### A3.3.1 BALANCE DE ENERGÍA

En primer lugar, se plantea un balance de energía para determinar la temperatura que tendrá el fluido a (interior de los tubos) a la salida del intercambiador.

Las temperaturas de entrada se conocen, y la temperatura de salida del fluido b se fija en 39°C ( $T_{bs}^b=39^\circ\text{C}$ ) ya que es la temperatura que se requerirá para el proceso de absorción ya diseñado.

La ecuación A3.1 muestra el balance de energía para el sistema, expresión que también permite obtener el flujo de calor:

$$q = m^a \cdot C_p^a (T_{bs}^a - T_{be}^a) = m^b \cdot C_p^b (T_{be}^b - T_{bs}^b) \quad (\text{Ec. A3.1})$$

Donde:

m: Caudal másico del fluido (kg/h).

$C_p$ : Calor específico del fluido (kJ/kg·K).

$T_{bs}$ : Temperaturas de salida del intercambiador (°C).

$T_{be}$ : Temperatura de entrada al intercambiador (°C).

q: Flujo de calor (kJ/h).

Se obtiene:

$$274,27 \cdot 4,085 (T_{bs}^a - 311,2) = 269,76 \cdot 4,085 (343,15 - 312,15)$$

$$T_{bs}^a = 341,69 \text{ K} = 68,5^\circ\text{C}$$

$$q = 34161,05 \text{ kJ/h} = 9,49 \text{ kW}$$

### A3.3.2 CÁLCULO DEL ÁREA PRELIMINAR

Una vez se ha obtenido la temperatura de salida del fluido que circulará por el interior de los tubos, se debe calcular un área preliminar para poder empezar a hacer las primeras consideraciones de diseño. Se sigue el método iterativo detallado en la memoria descriptiva, que consiste básicamente en suponer un  $U$  inicial en base a los fluidos del sistema. En base a esa suposición se puede obtener un área preliminar, que permitirá seleccionar características del intercambiador, para finalmente volver a calcular  $U$  y decidir si la iteración es válida o es necesario repetirla.

Por datos bibliográficos se supone un coeficiente global de transmisión de calor de:

$$U_{\text{sup}}=800 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Mediante el uso de la ecuación A3.2 podemos obtener el área preliminar necesaria de intercambio de calor:

$$q = U \cdot A \cdot (\Delta T)_{ml} \cdot Y \quad (\text{Ec. A3.2})$$

Donde:

$q$ : Flujo de calor (kJ/h).

$U$ : Coeficiente global de transmisión de calor ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ).

$A$ : Área de intercambio de calor ( $\text{m}^2$ ).

$(\Delta T)_{ml}$ : Incremento de temperatura media logarítmica (K ó  $^{\circ}\text{C}$ )

$Y$ : Factor de corrección. Para el sistema en estudio puede considerarse  $Y=1$ .

Mediante la ecuación A3.3 se puede calcular  $(\Delta T)_{ml}$ :

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{(T_{bs}^b - T_{be}^a) - (T_{be}^b - T_{bs}^a)}{\ln \frac{(T_{bs}^b - T_{be}^a)}{(T_{be}^b - T_{bs}^a)}} \quad (\text{Ec. A3.3})$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Siendo las temperaturas de entrada y salida al intercambiador de los dos fluidos las ya expuestas o calculadas más arriba, se obtiene:

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(39 - 38,05) - (70 - 68,5)}{\ln \frac{(39 - 38,05)}{(70 - 68,5)}} = 1,204$$

Por tanto, aplicando la ecuación A3.2 expuesta arriba se obtiene:

$$34161,05 = 800 \cdot A \cdot 1,204$$
$$A = 35,46 \text{ m}^2$$

### A3.3.3 SELECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS TUBOS

Una vez obtenida el área preliminar para el intercambiador se deben seleccionar los tubos. Como se explica en la memoria, las normas TEMA determinan unos tamaños estándar tanto de diámetro, como espesor y longitud.

Dado que se ha obtenido un área de intercambio bastante reducida, se seleccionan tubos con las siguientes características:

$$D_o = 19,05 \text{ mm}$$

$$e = 0,89 \text{ mm}$$

$$L_t = 3,05 \text{ m}$$

Material: Acero estándar

El cálculo del número de tubos necesarios puede hacerse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N_t = \frac{A}{\pi \cdot D_o \cdot L_t} \quad (\text{Ec. A3.4})$$

Donde:

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$N_t$ : Número de tubos.

A: Área de intercambio (m<sup>2</sup>).

$D_o$ : Diámetro externo de los tubos (m).

$L_t$ : Longitud de los tubos (m).

Haciendo uso de la ecuación A3.4 se obtiene:

$$N_t = 194,26 \text{ tubos} \approx 195 \text{ tubos}$$

### A3.3.4 DIÁMETRO DE LA CORAZA

Para poder determinar un diámetro para la coraza, se debe calcular primero el diámetro del haz de tubos ( $D_h$ ), que se podrá calcular haciendo uso de la ecuación A3.5:

$$D_h = D_o \cdot \left(\frac{N_t}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Ec. A3.5})$$

Donde “n” y “K” son constantes que dependen del número de paso en los tubos y de la disposición de estos dentro de la coraza. Para este caso, con dos pasos en los tubos y una disposición cuadrada:

$$K = 0,156$$

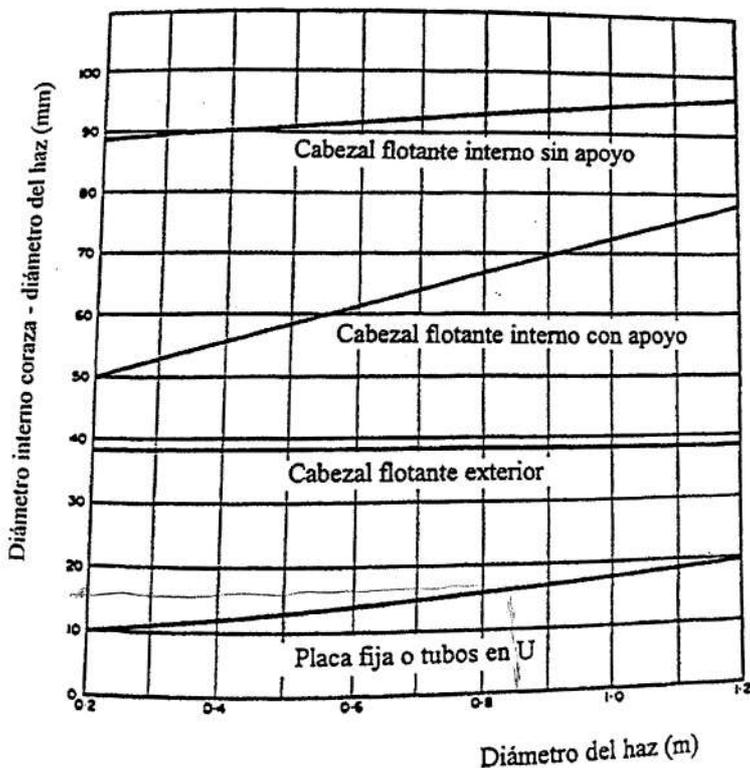
$$n = 2,291$$

Se obtiene un diámetro del haz de tubos de:

$$D_h = 0,428 \text{ m}$$

El diámetro interno de la coraza debe seleccionarse intentando que se ajuste en la mayor medida de lo posible al diámetro del haz de tubos, se establece una relación adecuada que se muestra en la **figura M3.1**, dependiendo del tipo de construcción que tenga el intercambiador:

Figura A3.1. Arreglos para determinar el diámetro de la coraza.



Respecto a la figura, y teniendo en cuenta que para este intercambiador se ha seleccionado una placa de tipo fijo, se recomienda que la diferencia entre el diámetro de la coraza y del haz de tubos sea de 12mm. Lo que se traduce en un diámetro interno de la coraza de:

$$D_{ic}=0,44 \text{ m}$$

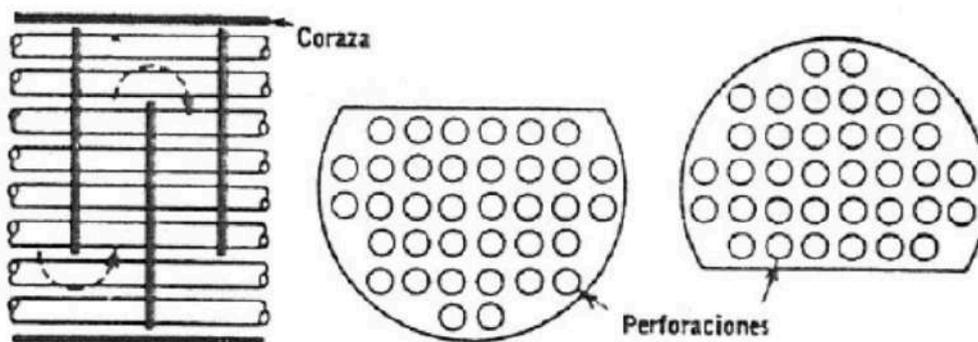
Y según los valores normalizados de la norma TEMA, con este diámetro de coraza se podrá hacer uso de un tubo estándar, que preferiblemente será de acero al carbono y con un espesor mínimo de:

$$e_{coraza}=9,5 \text{ mm}$$

### A3.3.5 DISEÑO DE LOS DEFLECTORES

Los deflectores son los elementos que crearán un flujo perpendicular del fluido que circula por la coraza con respecto a los tubos, aumentando así la transmisión de calor entre ambos fluidos. Se van a diseñar deflectores con corte horizontal, monoseccionados y con forma circular. En la figura A3.2 se muestra la estructura básica:

**Figura A3.2. Deflectores de corte horizontal.**



Las variables que definirán el diseño de los deflectores se muestran en la ecuación A3.6:

$$C_d = \frac{H_d}{D_d} \quad (\text{Ec. A3.6})$$

Donde:

$C_d$ : Es el corte del deflector, y su valor óptimo está entre 0,20-0,25. Para el diseño de este deflector se fija en 0,23.

$H_d$ : Altura del corte del deflector (mm). Es la altura desde la segmentación horizontal hasta el punto más alto del semicírculo segmentado.

$D_d$ : Es el diámetro total del deflector, incluyendo la altura de su corte (mm).

Las normas TEMA establecen para el diseño de los deflectores que  $D_d$  debe ser (cuando para la construcción de la coraza se usa tubo estándar):

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$D_d = D_{ic} - 1,6 = 440 - 1,6 = 438,4 \text{ mm}$$

De esta manera, con este calculo hecho y la ecuación A3.6 se obtiene:

$$H_d = 0,23 \cdot (438,4) = 100,8 \text{ mm}$$

Además, se debe fijar la distancia que tendrá que haber entre deflectores, y obtener también el número total de deflectores que se necesitarán en el intercambiador.

La distancia entre deflectores óptima se fija según las normas TEMA entre 0,3 y 0,5 del diámetro interno de la coraza. Se toma un valor de:

$$(l_d)_{\text{optimo}} = 0,5 \cdot D_{ic}$$

Se obtiene así:

$$l_d = 0,5 \cdot 440 = 220 \text{ mm} = 0,22 \text{ m}$$

Y siendo la longitud del intercambiador de 3,05 m (solo la parte de intercambio puro, el intercambiador será más largo en la práctica por las zonas de reparto del fluido), se obtiene un número de deflectores de:

$$N_{\text{deflectores}} = 13,08 \text{ deflectores} \approx 13 \text{ deflectores}$$

### A3.3.6 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR

Una vez hechos los cálculos preliminares de diseño, se debe comprobar que la suposición de coeficiente global es correcta. Para ello, se calcularán en primer lugar los coeficientes individuales tanto del lado de los tubos como del lado de la coraza para

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

posteriormente poder calcular el coeficiente global U y poder calcularlo con el valor supuesto.

### A3.3.6.1 Coeficiente individual del lado de los tubos y la coraza.

Para el cálculo del coeficiente individual del lado de los tubos se hace uso del número de Nusselt, que es un número adimensional que es función de los números adimensionales de Prandtl y Reynolds. El procedimiento es sencillo, se obtiene en primer lugar los valores de los Pr y Re, se selecciona después una relación de Nusselt adecuada para el sistema en estudio, y se obtiene así un valor para Nu que permita fácilmente mediante su definición obtener el coeficiente individual (Ec.A3.7).

$$Nu = \frac{h \cdot L_c}{k} \quad (Ec. A3.7)$$

Donde:

h: Coeficiente individual de transmisión de calor (W/m<sup>2</sup>·K).

Lc: Longitud característica, que dependerá del sistema en estudio.

k: Conductividad térmica del fluido en estudio (W/m·K).

De esta forma y como se ha descrito, mediante las ecuaciones A3.8 y A3.9 se obtienen los números adimensionales de Pr y Re:

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (Ec. A3.8)$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (Ec. A3.9)$$

Todos los elementos de la ecuación han quedado ya definidos a lo largo del documento, excepto “v” que puede obtenerse con la ecuación A3.10:

$$v = \frac{Q}{S} \quad (Ec. A3.10)$$

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

De donde se obtiene:

$$v = 0,262 \text{ m/s}$$

Y a partir de ahí, se obtienen Re y Pr:

$$Re=4834,23$$

$$Pr=7,39$$

Una vez obtenidos los números adimensionales de Re y Pr se debe seleccionar una ecuación adecuada para obtener el número de Nusselt. En este caso se selecciona la ecuación de Dittus-Boelter, válida para fluidos con viscosidades parecidas a la del agua:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad (Ec. A3.11)$$

Donde todos los elementos ya han quedado definidos, excepto “n”, que será:

- n=0,3 para fluidos que se enfrían.
- n=0,4 para fluidos que se calientan.

Se obtiene:

$$Nu = 0,023 \cdot 4834,23^{0,8} \cdot 7,39^{0,4} = 45,35$$

Y haciendo uso de la ya expuesta ecuación A3.6, en la que la longitud característica será el diámetro de un tubo:

$$h_{tubos} = \frac{Nu \cdot k}{D} = \frac{45,35 \cdot 0,00058}{19,05 \cdot 10^{-3}} = 1380 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

El coeficiente individual del lado de la coraza es más complejo, pues comprende diversos tipos de flujo, varios objetos sumergidos, tubos, deflectores...Tras intentar obtener resultados del módulo de Nusselt con distintas ecuaciones empíricas para estos

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

casos, sin conseguir nada concluyente, se decide tomar una suposición para el coeficiente del lado de la coraza, que podrá luego ser corroborado por la comprobación del coeficiente global U, así como por los datos de la simulación informática realizada.

El coeficiente supuesto es:

$$h_{coraza} = 1500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### A3.3.6.2 Coeficiente global de transmisión de calor

Por último, para finalizar el procedimiento de diseño, se debe comprobar que el coeficiente global de transmisión de calor sea similar al supuesto. En caso positivo, se daría el proceso de diseño por finalizado, y en caso contrario habría que hacer una nueva suposición y recalcular todas las variables de diseño.

Mediante la ecuación A3.12 se puede calcular el coeficiente global, en el que tenemos en cuenta la transmisión de calor por convección entre ambas partes del intercambiador, y la transmisión de calor por conducción entre los tubos interiores y el fluido que circula por la coraza. Se han despreciado posibles factores de ensuciamiento, dado que el fluido usado no tiene una gran capacidad de crear costras.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{tubos}} \cdot \frac{D_{ot}}{D_{it}} + \frac{e_t}{k} \cdot \frac{D_{ot}}{D_{ml}} + \frac{1}{h_{coraza}} \quad (\text{Ec. A3.12})$$

Donde:

$$D_{ot}=19,05 \text{ mm}$$

$$D_{it}=17,27 \text{ mm}$$

$$e_t=0,89 \text{ mm}$$

$$k_{acero}=40 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$h_{tubos}=1380 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$h_{coraza}=1500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Y el diámetro medio logarítmico se calcula como:

$$D_{ml} = \frac{D_o - D_i}{\ln \frac{D_o}{D_i}} = 18,14 \text{ mm}$$

Se obtiene así:

$$\frac{1}{U} = 1,489 \cdot 10^{-3}$$

$$U = 671,59 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Comparando con el valor supuesto, se puede dar por buena la iteración, así como todos los cálculos de diseño hechos.

### A3.3.7 LONGITUD TOTAL DEL INTERCAMBIADOR

La longitud total del intercambiador comprenderá la parte de intercambio:

$$L_{\text{intercambio}} = 3,05 \text{ m}$$

Así como una parte izquierda que servirá de entrada y salida para el fluido que circula por el interior de los tubos, y una parte derecha semielíptica que servirá para realizar el cambio de paso en el lado de los tubos. La entrada del fluido que circula por la coraza se realizará por la parte inferior izquierda de la zona de intercambio y la salida por la parte superior derecha de la parte de intercambio.

Las longitudes de las zonas complementarias a las zonas de intercambio se establecen con holgura para no cometer errores por falta de longitud.

$$L_{\text{distribuidor}} = 50 \text{ cm}$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$L_{\text{cambiapaso}}=40\text{cm}$$

Obteniéndose así una longitud total del intercambiador de :

$$L_{\text{intercambiador}}=3,95 \text{ m}$$

### A3.4 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPLEMENTARIO

Como se ha comentado tanto en la memoria como en la introducción de este documento Anexo, el intercambiador amina-amina es una buena solución para aprovechar gran parte de la energía de esas dos corrientes del proceso, pero no es suficiente para alcanzar los requerimientos que se tienen en el proyecto en estudio, por lo que es necesario el diseño de un segundo intercambiador complementario que utilizará agua fría como refrigerante. Se ha seleccionado un intercambiador de calor de tipo tubos concéntricos o doble tubo, en el que el agua circulará por el espacio anular exterior y la corriente de amina a enfriar circulará por el tubo interior.

Los datos iniciales de los que se dispone para el diseño son:

**Tabla A3.2. Propiedades de los fluidos.**

	<b>CORRIENTE 1 (Fluido a)</b>	<b>CORRIENTE 2 (Fluido b)</b>
<b>Fluido</b>	Disolución acuosa de amina	Agua corriente
<b>m (kg/h)</b>	269,76	290
<b>T<sub>be</sub> (°C)</b>	39	18
<b>T<sub>bs</sub> (°C)</b>	30	-
<b>μ (cP)</b>	1,05	1,002
<b>ρ (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1017	997
<b>C<sub>p</sub> (kJ/kg·K)</b>	4,085	4,18
<b>k (W/m·K)</b>	0,58	0,58
<b>Posición</b>	Tubo interior	Sección anular
<b>Régimen de circulación</b>	Contracorriente	

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

En primer lugar se plantea un balance de energía para determinar la temperatura de salida del agua del intercambiador:

$$q = -m^a \cdot C_{pa} \cdot (T_{bs}^a - T_{be}^a) = -m^b \cdot C_{pb} \cdot (T_{be}^b - T_{bs}^b) \quad (Ec. A3.13)$$

$$q = -(269,76) \cdot 4,085 \cdot (30 - 39) = 9917,72 \text{ kJ/h} = 2677,78 \text{ W}$$

$$9917,72 = -(290) \cdot 4,18 \cdot (18 - T_{bs}^b)$$

$$T_{bs}^b = 26,18^\circ\text{C}$$

Se obtienen a continuación los incrementos de temperaturas en ambos extremos del intercambiador:

$$\Delta T_1 = 12,82^\circ\text{C}$$

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

Y se puede plantear así la ecuación de velocidad para obtener un área preliminar. Para poder obtener esta área preliminar, se debe hacer una suposición de U para el sistema propuesto.

Consultando tablas diversas, se propone el valor de:

$$U = 600 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

La ecuación de velocidad se muestra en la ecuación A3.14:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad (Ec. A3.14)$$

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Donde:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{12 - 12,82}{\ln \frac{12}{12,82}} = 12,40^\circ C$$

Se obtiene así el área preliminar:

$$A = 0,36 \text{ m}^2$$

Como se puede observar, el área requerida es muy pequeña, lo que indica que el tamaño global del intercambiador será muy reducido.

En este caso, se recurrirá a un intercambiador de calor comercial, que supla las necesidades de este proceso de intercambio de calor.

Se calculará de todas formas la longitud necesaria del intercambiador, seleccionando un tubo de diámetro normalizado para el interior, y en base a esto se podrá encargar la fabricación del intercambiador.

Se selecciona la siguiente tubería normalizada:

$$D_i = 100 \text{ mm}$$

$$e = 6,02 \text{ mm}$$

$$D_e = 112,04 \text{ mm}$$

Y haciendo uso de la expresión A3.15 se obtiene la longitud de intercambio:

$$A = \pi \cdot D_i \cdot L_{total} \quad (\text{Ec. A3.15})$$

$$L_{total} = 1,146 \text{ m} \approx 1,30 \text{ m}$$

Se considerará una longitud sensiblemente mayor a la obtenida analíticamente, ya que como las conducciones se diseñarán en base a estas medidas preliminares, es adecuado

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

tomar un pequeño margen de seguridad, ya que en todo momento hablamos de longitud necesaria para el intercambio de calor, por lo que la longitud total del intercambiador será siempre mayor.

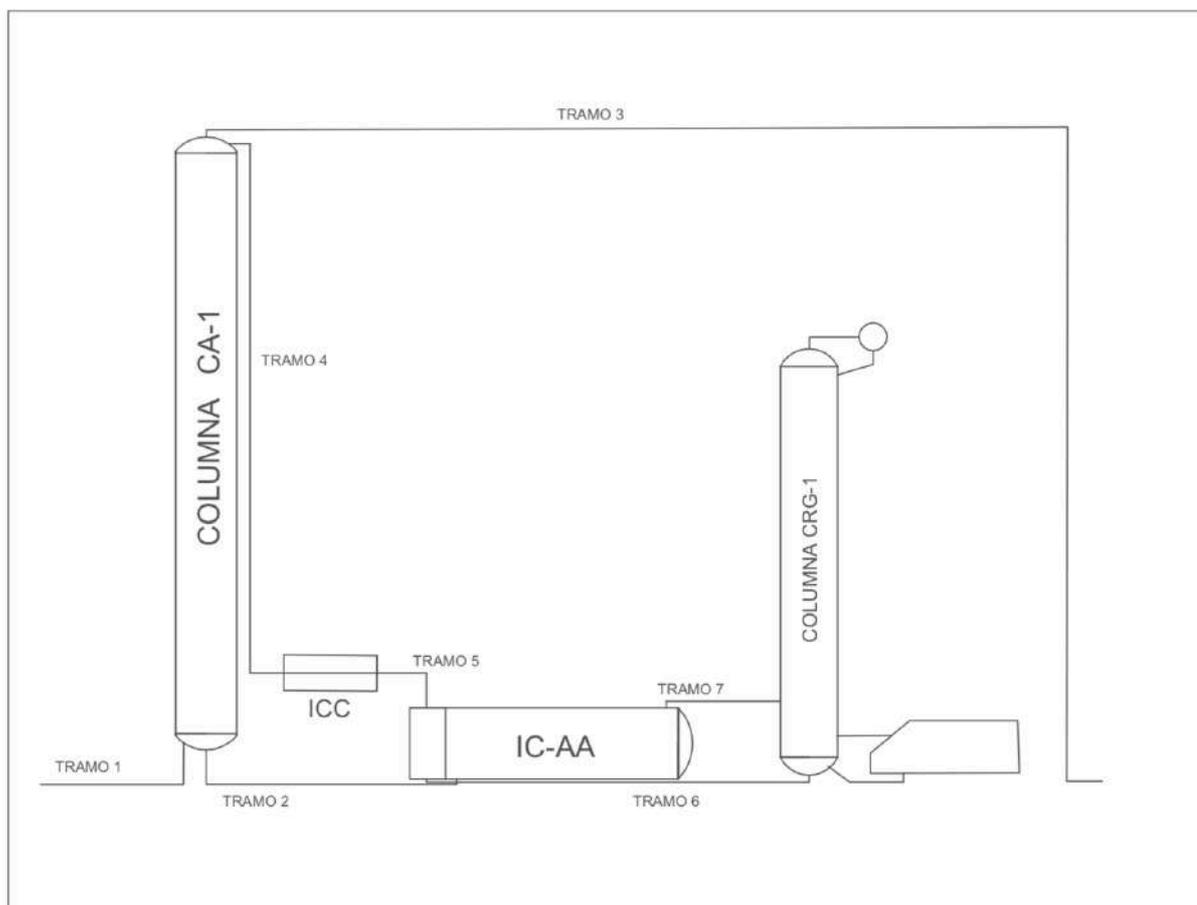
## A4. ANEXO IV: CÁLCULOS DE LAS CONDUCCIONES.

En este documento anexo van a realizarse todos los cálculos referentes a los tramos de tuberías necesarias en la instalación del proceso. Se realizarán los cálculos necesarios para asegurar la buena circulación de los fluidos en la instalación, y se comprobará en que tramos pueden ser necesarios equipos de impulsión.

### A4.1 CONDUCCIONES

En la figura A4.1 se muestra el esquema general de la instalación, que incluye todas las conducciones de la instalación.

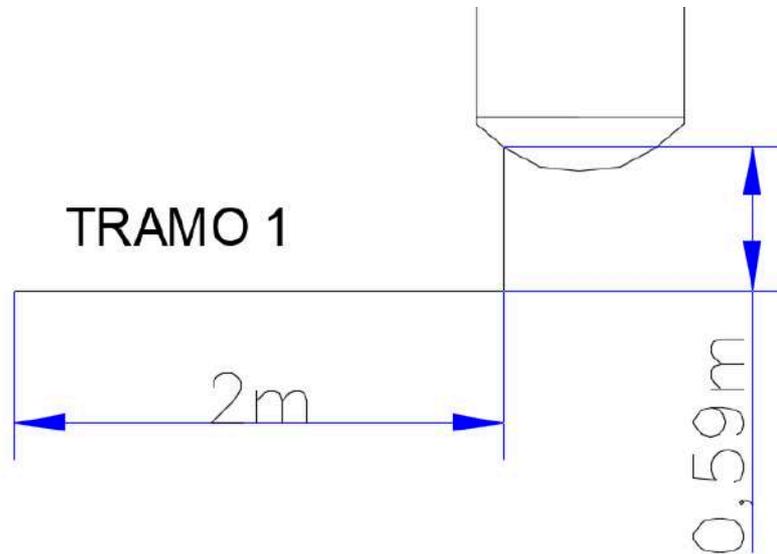
**Figura A4.1. Esquema de la instalación.**



En total son 7 los tramos existentes en el proceso estudiado y diseñado, y en principio se analizará la necesidad de bombas centrífugas o compresores en el tramo 3 y 4.

- Tramo 1: En la figura A4.2 se muestra el detalle del tramo 1 de la instalación.

**Figura A4.2. Detalle del tramo 1 de conducción.**



Este tramo transporta el biogás desde su salida del digestor anaerobio N°2 de la EDAR de Castellón de la plana hasta el inicio de su tratamiento de desulfuración diseñado en este proyecto (entrada por cola de columna a CA-1).

En primer lugar deberá elegirse un diámetro para la conducción. La selección se hará en base a 2 factores.

Recurriendo a los valores típicos de velocidad para gases en tuberías mostrados en la figura A4.3, se seleccionará una velocidad del gas en la conducción, que junto con el caudal volumétrico de gas, dará un valor de la sección para este tramo de tubería. En base a esa sección, se obtendrá el diámetro de tubería necesario, valor que ajustaremos a los valores nominales del fabricante mostrados en la ficha técnica de las tuberías en el Anexo V.

**Figura A4.3. Valores típicos de velocidad para gases en tuberías. (m/s)**

<i>Diámetro nominal (pulgadas)</i>	<i>Vapor saturado (baja presión)</i>	<i>Vapor sobrecalentado, o gas (media presión)</i>	<i>(alta presión)</i>
≤2	13-30	12-24	9-18
3-4	15-33	13-27	10-20
6	18-36	15-36	13-27
8-10	20-38	24-48	20-38
12-14	21-39	30-57	24-43
16-18	23-40	33-63	27-48
20	24-42	26-66	30-50

Con la información de la figura A4.3 se selecciona una velocidad inicial para el cálculo de:

$$v = 16 \frac{m}{s}$$

Y el caudal volumétrico, ya expuesto en apartados anteriores de este proyecto es de:

$$Q = 4006,72 \frac{m^3}{h} = 1,11 \frac{m^3}{s}$$

Así, con la ecuación A4.1 se puede obtener la sección de paso:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (Ec. A4.1)$$

$$A = \frac{1,11}{16} = 0,07 \text{ m}^2$$

Y se obtiene mediante la expresión A4.2 el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (Ec. A4.2)$$

$$D = 0,09 \text{ m} = 90 \text{ mm} = 3,54 \text{ ''}$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Y recurriendo al catálogo mostrado en el Anexo V de este mismo proyecto, se elige un diámetro nominal de:

$$D_{N1} = 100 \text{ mm} = 4''$$

En la tabla A4.1 se muestra el detalle del tramo 1 del sistema.

**Tabla A4.1. Tramo 1.**

<b>TRAMO 1</b>	Tramos rectos	1 x 2 m
		1 x 0,59 m
	Accidentes	1 válvula de asiento (abierta)
		Codo 90° gran curvatura
		1 reducción 150-100
	Diámetro	$D_{N1}=100 \text{ mm}$
	Espesor	$e=6,02 \text{ mm}$
	Material	Acero al carbono A106

- Tramo 2: En la figura A4.4 se muestra el detalle del tramo 2 de la instalación.

**Figura A4.4. Detalle del tramo 2 de conducción.**



Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Este tramo de conducción transportará la solución de amina rica desde el fondo de la columna CA-1 hasta la entrada al intercambiador IC-AA, concretamente esta solución se introduce por el lado de la coraza.

Se seguirá el mismo procedimiento que en el tramo 1, aunque en este caso se trata de un fluido no compresible, por lo que se recurrirán a los valores de velocidad recomendados mostrados en la figura A4.5.

**Figura A4.5. Valores típicos de líquidos en conducciones (m/s).**

	$D \leq 2''$	$3'' < D < 10''$	$10'' < D < 20''$
<i>Agua</i>			
Succión bomba.....	0,3-0,6	0,6-1,2	1 -2
Descarga bomba .....	0,5-1	1 -1,5	1,2-2
Alimentación caldera ...	1,2-3	1,5-3,5	2,5-4,2
Desagües .....	1 -1,2	1 -1,5	—
<i>Hidrocarburos líquidos (viscosidad normal)</i>			
Succión bomba.....	0,5-0,75	0,6-1,2	1 -2
Desagües .....	1 -1,2	1 -1,5	—
<i>Aceites viscosos</i>			
Succión bomba:			
— Viscosidad media ....	—	0,5-1	0,75-1,5
— Alquitrán y fuel-oil...	—	0,1-0,2	0,15-0,30
Descarga .....	—	1 -1,5	1,2-1,8
Desagües .....	0,3	0,5-1	—

De acuerdo a la tabla, se selecciona una velocidad de circulación para la solución de amina rica que circulará por el tramo 2 de conducciones:

$$v = 0,5 \text{ m/s}$$

Sabiendo que el caudal volumétrico de la solución de amina rica de salida de la columna es:

$$Q_v = 0,2697 \text{ m}^3/\text{h} = 7,49 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Y aplicando de nuevo la ecuación A4.1 se obtiene el área de paso de la tubería:

$$A = 1,5 \cdot 10^{-4} m^2$$

Y haciendo uso de la expresión A4.2, se obtiene el diámetro:

$$D = 0,01 m$$

Recurriendo al catálogo del fabricante, se selecciona el diámetro nominal del tramo de tubería, y su correspondiente espesor:

$$D_{N2} = 15 mm = 1/2 "$$

En la tabla A4.2 se detallan las características del tramo 2 de conducción.

**Tabla A4.2. Tramo 2.**

<b>Tramo 2</b>	Tramos rectos	1 x 0,49 m
		1x 3,49 m
		1 x 0,08 m
	Accidentes	2 codos 90° estándar
	Diámetro conducción	D <sub>N2</sub> =15 mm
	Espesor	e=2,77 mm
	Material	Acero al carbono A106

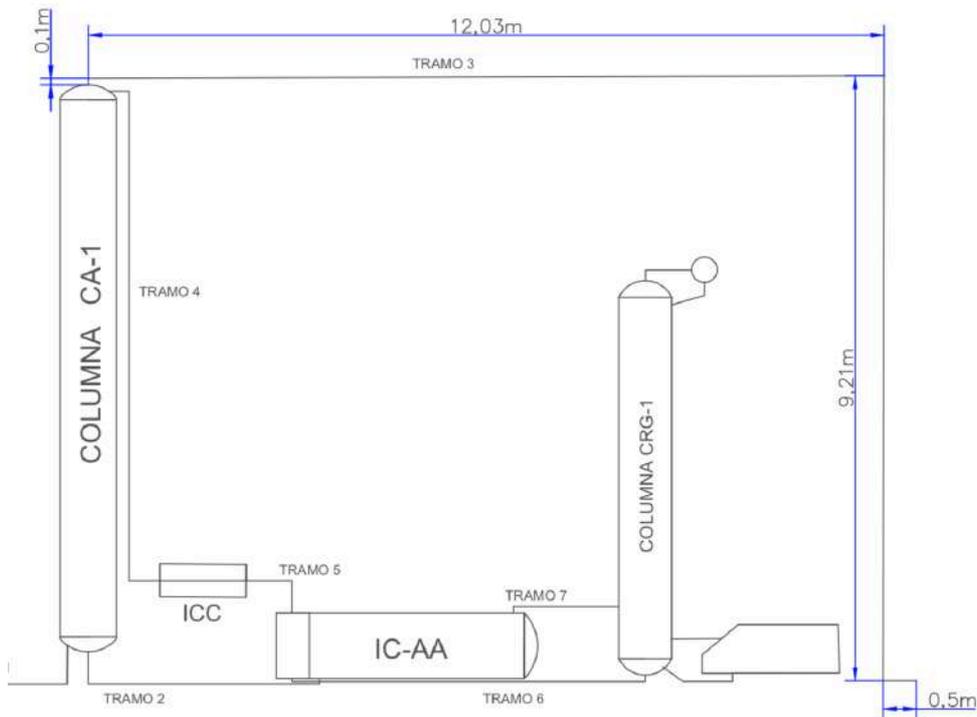
- Tramo 3: En la figura A4.6 se muestra el detalle del tramo 3 de la instalación de conducciones.

Para mantener el caudal de entrada a la columna CA-1, las válvulas de asiento servirán como regulación de caudal para todo el sistema, es decir, en todas las conducciones se va a mantener un caudal constante e igual en todas las tuberías, lo que implica que se usarán los mismo diámetros para todas ellas.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Siendo el diámetro nominal obtenido para el tramo 1 el que se aplicará para todos los tramos que transporten gas, y el del tramo 2 el aplicable a todos los tramos que transporten solución de amina.

**Figura A4.6. Detalle del tramo 3 de conducción.**



Y en la tabla A4.3 se muestran las características desglosadas del tramo 3 de conducción.

**Tabla A4.3. Tramo 3.**

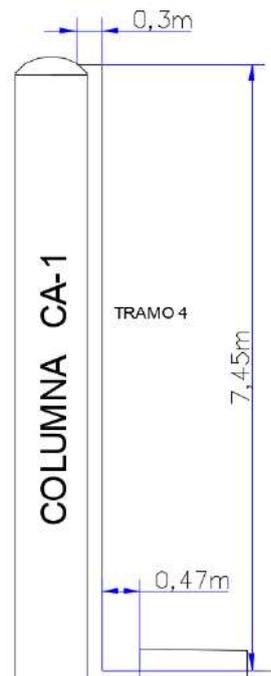
<b>Tramo 3</b>	Tramos rectos	1 x 0,1 m
		1 x 12,03 m
		1 x 9,21 m
		1 x 0,5 m
	Accidentes	1 válvula de asiento
		3 codos de 90° de gran curvatura

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

	Diámetro	$D_{N3}=100$ mm
	Espesor	$e=6,02$ mm
	Material	Acero al carbono A106

- Tramo 4: En la figura A4.7 se muestra el detalle del tramo 4 de la instalación.

**Figura A4.7. Detalle del tramo 4 de conducción.**



Y en la tabla A4.4 se muestran las características desglosadas del tramo 4 de conducción.

**Tabla A4.4. Tramo 4.**

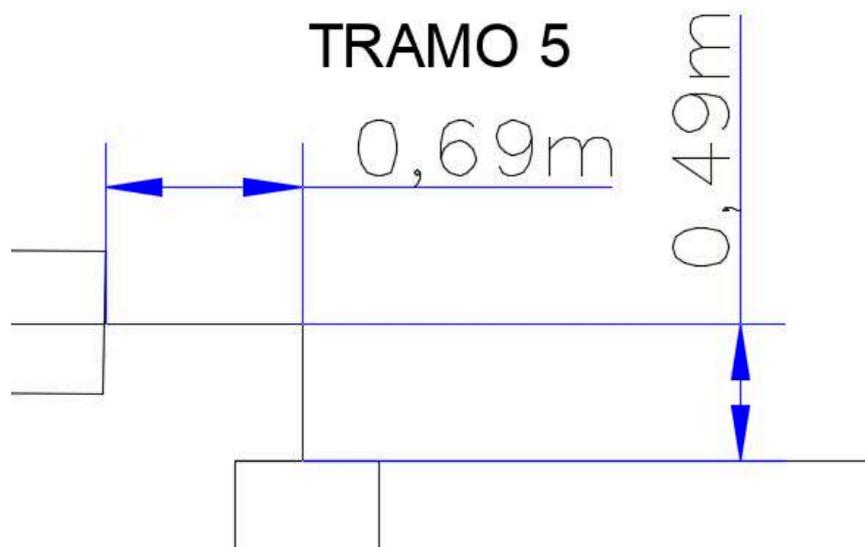
<b>Tramo 4</b>	Tramos rectos	1 x 0,3 m
		1 x 7,45 m
		1 x 0,47 m
	Accidentes	2 codos 90° estándar
	Diámetro	$D_{N4}=15$ mm

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

	Espesor	e=2,77 mm
	Material	Acero al carbono A106

- Tramo 5: En la figura A4.8 se muestra el detalle del tramo 5.

**Figura A4.8. Detalle del tramo 5 de conducción.**



Y en la tabla A4.5 se muestran desglosadas las características del tramo de conducción.

**Tabla A4.5. Tramo 5.**

<b>Tramo 5</b>	Tramos rectos	1 x 0,69 m
		1 x 0,49 m
	Accidentes	1 codo 90° estándar
	Diámetro	$D_{N5}=15$ mm
	Espesor	e=2,77 mm
	Material	Acero al carbono A106

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Tramo 6: En la figura A4.9 se muestra el esquema del tramo 6 de conducciones de la instalación.

**Figura A4.9. Detalle del tramo 6 de conducción.**



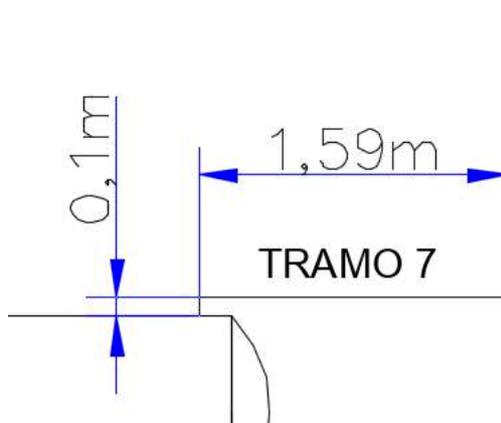
Y en la tabla A4.6 se desglosan las características del tramo en estudio.

**Tabla A4.6. Tramo 6.**

<b>Tramo 6</b>	Tramos rectos	1 x 0,05 m
		1 x 5,34 m
		1 x 0,1 m
	Accidentes	2 codos 90° estándar
		1 válvula de asiento
	Diámetro	$D_{N6}=15$ mm
	Espesor	$e=2,77$ mm
Material	Acero al carbono A106	

- Tramo 7: En la figura A4.10 se muestra el detalle del tramo 7 de conducciones de la instalación.

**Figura A4.10. Detalle del tramo 7 de conducción.**



Y en la tabla A4.7 se desglosan las características del tramo en estudio.

**Tabla A4.7. Tramo 7.**

<b>Tramo 7</b>	Tramos rectos	1 x 0,1 m
		1 x 1,59 m
	Accidentes	1 codo 90° estándar
		1 válvula de asiento
	Diámetro	$D_{N7}=15$ mm
	Espesor	$e=2,77$ mm
Material	Acero al carbono A106	

## A4.2 EQUIPOS DE IMPULSIÓN

Una vez determinados los diámetros de las conducciones, se analizará la necesidad de bombas o compresores en algunos de los tramos.

Se analizará la necesidad de una bomba centrífuga para impulsar líquidos en el tramo 4, y la necesidad de un impulsor centrífugo para el biogás en el tramo 3 de conducción.

- Equipos de impulsión Tramo 4 de conducciones:

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Dado que se trata de un tramo en el que el líquido saldrá con una presión bastante reducida del último intercambiador de calor, y la columna opera a una presión bastante elevada, será necesario un equipo de impulsión para introducir la solución de amina limpia por la cabeza de la columna.

Para el cálculo de la bomba necesaria en la conducción, se planteará en primer lugar un balance de energía mecánica, que en este caso está expresado con todos los términos como cargas:

$$h_s = (z_2 - z_1) + \left( \frac{v_2^2}{2g\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2g\alpha_1} \right) + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{\Delta F}{g} = \frac{W}{g} = h_B \quad (\text{Ec. A4.3})$$

Donde:

h: Carga del sistema/Carga de la bomba (m).

z: Alturas de los puntos 1 y 2 (m).

v: Velocidades (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

p: Presiones (Pa).

$\rho$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>).

$\Delta F$ : Perdidas de energía mecánica por unidad de masa (J/kg).

W: Energía que deberá suministrar la bomba (J/kg).

La colocación de la bomba será a 1m de altura en la conducción de tramo recto vertical del tramo 4.

Así, particularizando para el tramo 4, se puede obtener la carga total del sistema:

$$h_s = (7,45 - 0) + \frac{(2 \cdot 10^5) - (0,8 \cdot 10^5)}{1017 \cdot 9,81} + \frac{\Delta F}{g}$$

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Para el cálculo de las pérdidas de energía mecánica del sistema, se calculará en primer lugar en modulo de Reynolds, para saber el régimen de circulación del fluido dentro de la conducción:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1017 \cdot 0,4238 \cdot 0,015}{1,05 \cdot 10^{-3}} = 6157,20$$

El número de Reynolds obtenido se situaría entre un régimen laminar y uno turbulento, es decir, en un régimen de transición. Aun así, siendo un valor más cercano a la turbulencia, se asumirá como régimen de circulación que es turbulento.

Una vez determinado esto, el cálculo de las pérdidas de energía mecánica del sistema se calcularán con la ecuación de Fanning, que para régimen turbulento es:

$$\Delta F = 2f v^2 \frac{L}{D} \quad (Ec. A4.4)$$

Se distinguirá la ecuación diferenciando en el cálculo de las pérdidas de carga para tramos rectos y para accidentes, siendo en el caso de estos últimos sustituida la longitud por una longitud equivalente obtenida del ábaco de equivalencias.

Se calcula en primer lugar la pérdida de carga para los tramos rectos de conducción, para ello, se obtiene en primer lugar el factor de fricción de Fanning “f”:

-Mediante el uso de la figura A4.11 se obtiene una rugosidad relativa de:

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,002$$

-Y mediante el uso de la gráfica de Moody (Figura A4.12), haciendo uso del número de Reynolds previamente calculado, y de la rugosidad relativa, se obtiene:

$$4f = 0,037$$

$$f = 0,00925$$

Figura A4.11. Rugosidad relativa en función del diámetro y material.

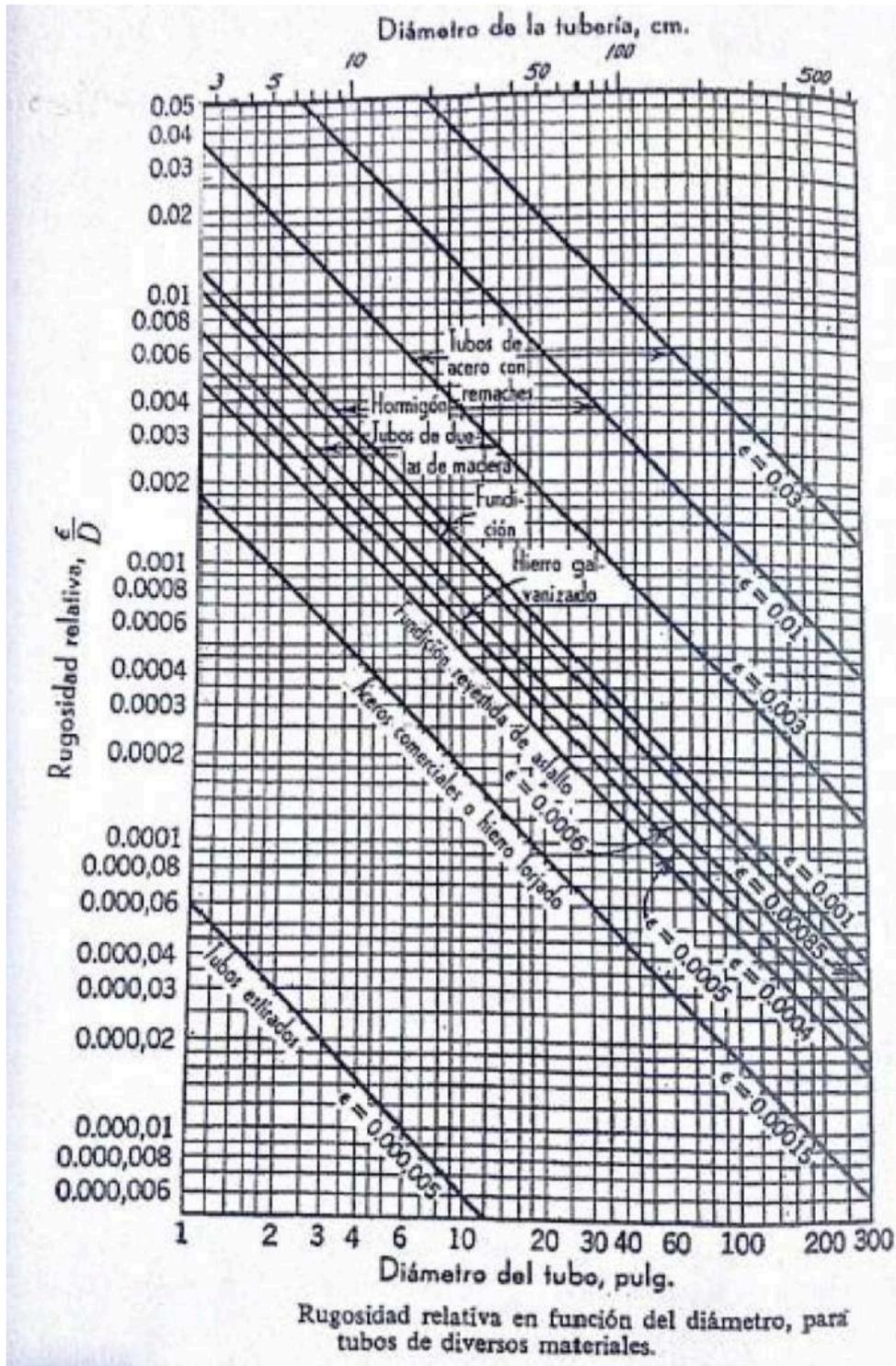
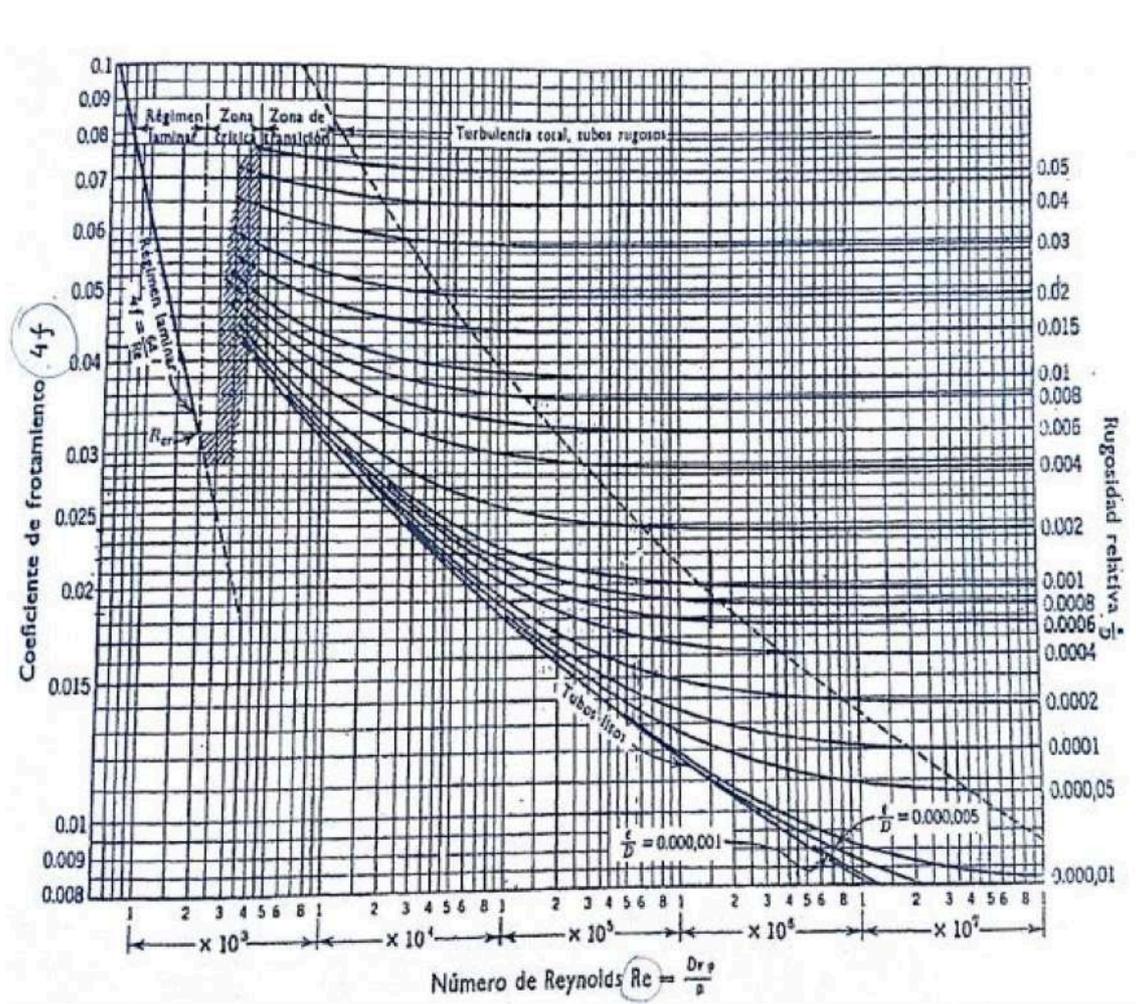


Figura A4.12. Gráfica de Moody.

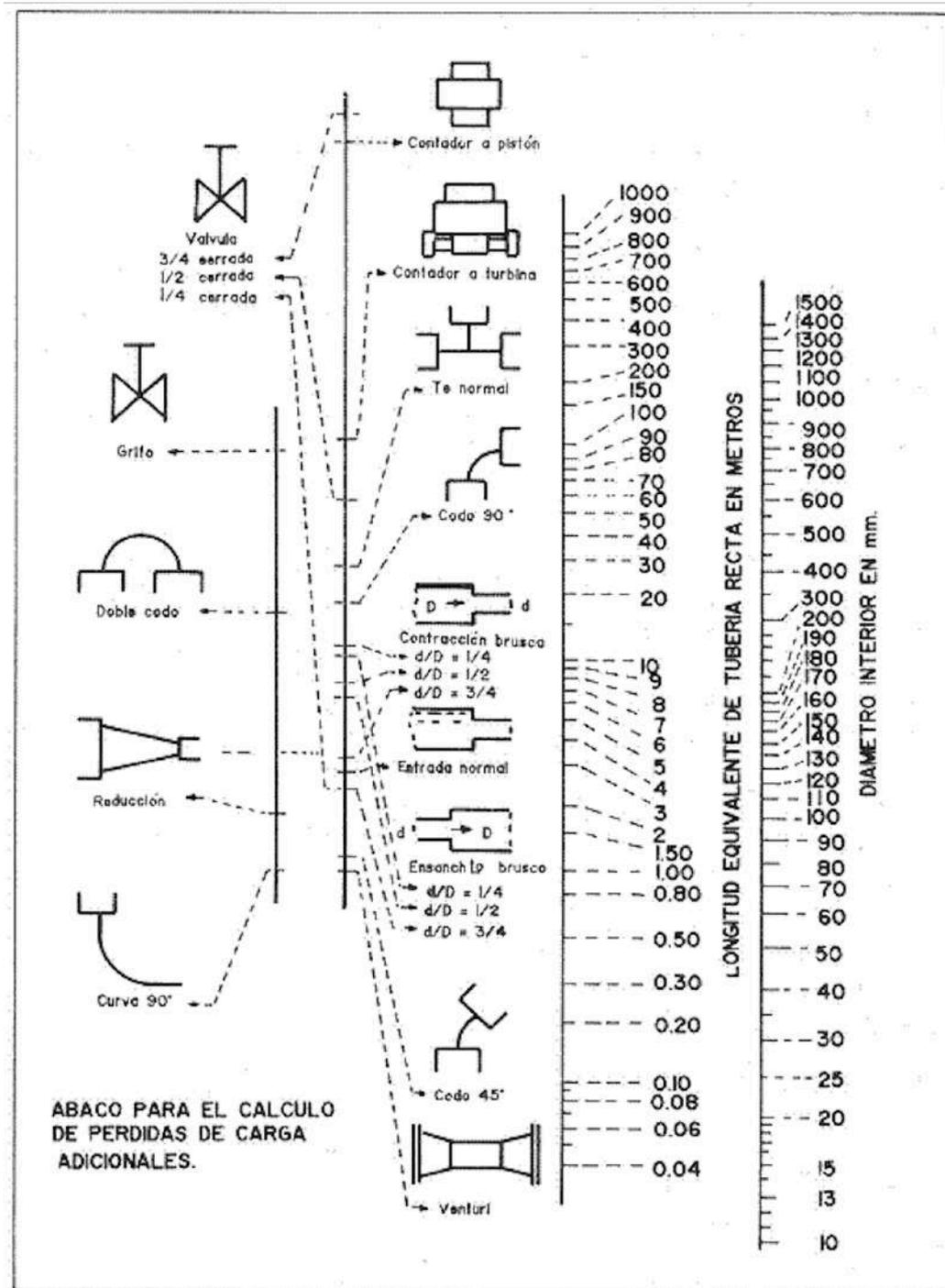


El total de tramos rectos del sistema está definido en la tabla A4.4, que suman un total de 3, por lo que la ecuación de Fanning para tramos rectos se desglosará en un sumatorio de 3 ecuaciones para cada longitud de tramo recto, tal y como se define a continuación:

$$\begin{aligned} \Delta F_r &= \left( 2 \cdot 0,00925 \cdot 0,4238^2 \cdot \frac{0,3}{0,015} \right) + \\ & \left( 2 \cdot 0,00925 \cdot 0,4238^2 \cdot \frac{7,45}{0,015} \right) + \left( 2 \cdot 0,00925 \cdot 0,4238^2 \cdot \frac{0,47}{0,015} \right) \\ &= (0,06645) + (1,6502) + (0,1041) \\ &= 1,82075 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

A continuación se repite el proceso del cálculo de pérdidas de carga, pero en este caso se particulariza para los accidentes. La gran diferencia respecto al calculo para tramos rectos es la consideración de la longitud, que en el caso de los accidentes se considera como una longitud equivalente, la cual se obtiene del ábaco de la figura A4.13.

Figura A4.13. Ábaco de longitudes equivalentes para accidentes.



Así, recurriendo al ábaco y a la tabla A4.4 en la que se detallaban los accidentes presentes en el tramo de conducción, se obtiene:

**Tabla A4.8. Longitud equivalente accidentes tramo 4.**

Unidades	Accidente	L <sub>eq</sub> (m)
2	Codo 90° estándar	0,8

Particularizando la ecuación de Fanning para los accidentes, se obtiene:

$$\Delta F_{acc} = \left( 2 \cdot 0,00925 \cdot 0,4238^2 \cdot \frac{0,8}{0,015} \right) + \left( 2 \cdot 0,00925 \cdot 0,4238^2 \cdot \frac{0,8}{0,015} \right) = 0,3544 \text{ J/kg}$$

Por tanto, se obtiene el valor total de pérdidas de carga en la conducción considerando ambos valores en tramo recto y en accidentes:

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_{acc} \quad (Ec. A4.5)$$

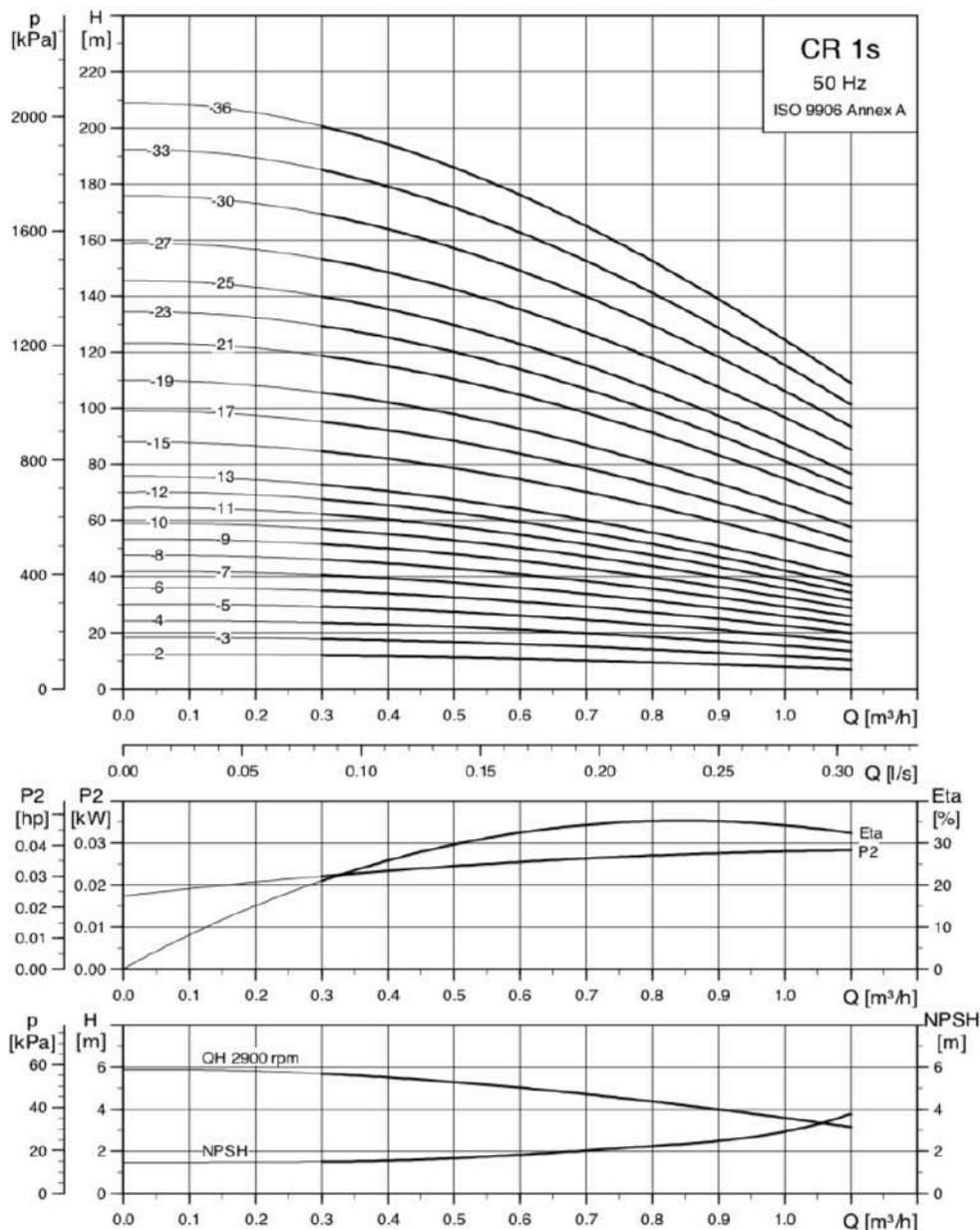
$$\Delta F = 1,82075 + 0,3544 = 2,17 \text{ J/kg}$$

Volviendo a la expresión del balance de energía mecánica planteado se obtiene:

$$h_s = (7,45 - 0) + \frac{(2 \cdot 10^5) - (0,8 \cdot 10^5)}{1017 \cdot 9,81} + \frac{2,17}{9,81} = 19,69 \text{ m}$$

No se necesitará una bomba centrífuga con altas exigencias, se selecciona un modelo de Grundfos España, S.A., cuya curva característica se muestra a continuación en la Figura A4.14:

Figura A4.14. Curva característica de la bomba CR 1s-3.



Considerando que en el sistema en todo momento (por requerimientos de la producción) circulará el caudal volumétrico ya expuesto, y sabiendo la carga necesaria en el sistema, se selecciona en la gráfica el modelo de bomba que satisface las necesidades, el modelo CR 1s-3 de Grundfos.

Con el caudal expuesto, la bomba trabajará en estas condiciones:

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$\eta = 20\%$$

$$P = 0,022 \text{ kW}$$

$$NPSH_{req} = 1,5 \text{ m}$$

Una vez obtenidos estos datos y teniendo seleccionado ya un modelo comercial de aplicación al sistema en estudio, se debe comprobar que el NPSH disponible en la sección de aspiración sea como mínimo igual al requerido por la bomba, o se producirá cavitación.

Para el cálculo del NPSH disponible en la sección de aspiración se utiliza la expresión siguiente:

$$NPSH_{disponible} = (z_1 - z_3) + \frac{1}{g} \left( \frac{p_1 - p_v}{\rho} + \frac{v_1^2}{2\alpha} - \Delta F_a \right) \quad (Ec. A4.6)$$

Donde:

z: Alturas de ambos puntos (m).

g: Aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

p<sub>1</sub>: Presión en el punto 1 (Pa).

p<sub>v</sub>: Presión de vapor del fluido (Pa).

ρ: Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>).

v: Velocidad del fluido (m/s).

ΔF<sub>a</sub>: Perdidas de carga en la zona de aspiración (J/kg).

\*Se hace referencia en la ecuación a subíndices 1 y 3. El punto 1 se considera al punto de inicio del tramo de aspiración previo a la bomba. El punto 3 sería el punto inmediatamente anterior a la entrada a la bomba.

Se dispone de todos los datos, excepto de la pérdida de carga, la cual se calculará con el mismo procedimiento seguido anteriormente (Ec.A4.4).

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Al igual que anteriormente, distinguiremos dentro del tramo de aspiración entre pérdida de carga en tramos rectos y pérdida de carga por accidentes:

$$\begin{aligned}\Delta F_{ar} &= \left(2 \cdot 0,00925 \cdot 0,4238^2 \cdot \frac{0,47}{0,015}\right) + \left(2 \cdot 0,00925 \cdot 0,4238^2 \cdot \frac{1}{0,015}\right) \\ &= 0,3256 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

$$\Delta F_{aacc} = \left(2 \cdot 0,00925 \cdot 0,4238^2 \cdot \frac{0,8}{0,015}\right) = 0,1772 \text{ J/kg}$$

Resultando por tanto:

$$\Delta F_a = 0,3256 + 0,1772 = 0,5028 \text{ J/kg}$$

Volviendo a la ecuación A4.6, donde el dato de presión de vapor se ha tomado de una tabla para el agua líquida a distintas temperaturas (Anexo V)(Se ha considerado a la mezcla agua-DEA como puramente agua para este cálculo):

$$\begin{aligned}NPSH_{disponible} &= (0 - 1) + \frac{1}{9,81} \left( \frac{0,8 \cdot 10^5 - 4247,03}{1017} + \frac{0,4238^2}{2} - 0,5028 \right) \\ &= 6,5508 \text{ m}\end{aligned}$$

Por tanto, se comprueba que no habrá cavitación, dado que:

$$NPSH_{disponible} \gg NPSH_{requerido}$$

Esto indica además que podríamos cambiar la posición de la bomba aumentando la longitud del tramo de aspiración, pero en este caso, por mejor conveniencia para el montaje por tratarse e un tramo vertical largo, es mejor que la bomba esté situada más cerca del suelo para su posible mantenimiento.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

A continuación, se debe realizar el análisis para instalar un impulsor centrífugo de gas en el tramo 3 de conducción.

El estudio en los gases es un poco distinto, pues no se hará referencia a cargas ni a conceptos similares al estudio en líquidos.

En este caso, se asumirá:

- Circulación isoterma.
- Comportamiento ideal del gas.

De esta forma, se calcularán las presiones de entrada y salida al supuesto compresor a instalar, que se situará a 1 metro desde el codo de 90° de salida de la columna CA-1 en el tramo recto horizontal de 12,03 m. Esta situación se elige por las ventajas en cuanto a instalación eléctrica y mantenimiento se refiere, se valorará su cambio en caso de que el estudio del compresor a elegir obligue a ello.

Para el cálculo de las presiones a la entrada y salida del compresor se realizarán sendos balances a un lado y al otro:

$$\frac{M}{2ZRT} (p_1^2 - p_2^2) = 2fG^2 \frac{L}{D} + \frac{G^2}{\alpha} \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (\text{Ec. A4.7})$$

$$\frac{M}{2ZRT} (p_3^2 - p_4^2) = 2fG^2 \frac{L}{D} + \frac{G^2}{\alpha} \ln \frac{p_3}{p_4} \quad (\text{Ec. A4.8})$$

Los puntos (1) y (4) serán el inicio y final de la conducción, y los puntos (2) y (3) serán los puntos de entrada y salida al compresor.

Se calcula el valor de la velocidad másica:

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

$$G = \frac{m}{S} \quad (Ec. A4.9)$$

$$G = \frac{1,326}{7,85 \cdot 10^{-3}} = 168,83 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$$

Además, también se tiene que obtener el valor del factor de Fanning (f), para ello se calcula en primer lugar en número de Reynolds:

$$Re = \frac{G \cdot D}{\mu} \quad (Ec. A4.10)$$

$$Re = \frac{168,63 \cdot 0,1}{1,05 \cdot 10^{-3}} = 1,6 \cdot 10^4$$

Haciendo uso de la gráfica de Moody anteriormente expuesta, se obtiene:

$$4f = 0,00045$$

$$f = 0,0001125$$

Se puede así obtener la presión en el punto de entrada al compresor:

$$\frac{23,1605}{2 \cdot 8314 \cdot 305} (2 \cdot 10^{5^2} - p_2^2) = 2 \cdot 0,0001125 \cdot 168,63^2 \frac{1,1}{0,1} + \frac{168,63^2}{\alpha} \ln \frac{2 \cdot 10^5}{p_2}$$

$$p_2 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Se repite el proceso para obtener la presión a la salida del compresor:

$$\begin{aligned} & \frac{23,1605}{2 \cdot 8314 \cdot 305} \cdot (p_3^2 - 2 \cdot 10^{5^2}) \\ &= 2 \cdot 0,0001125 \cdot 168,63^2 \frac{20,74}{0,1} + \frac{168,63^2}{\alpha} \ln \frac{p_3}{2 \cdot 10^5} \end{aligned}$$

$$p_3 = 2,007 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Una vez obtenidas las presiones de entrada y salida al compresor, se puede calcular la potencia necesaria para comprimir un kilo de gas:

$$W = \frac{Z \cdot R \cdot T_1}{M} \ln \frac{p_3}{p_2} \quad (\text{Ec. A4.11})$$

$$W = \frac{8314 \cdot 305}{23,1605} \ln \frac{2,007 \cdot 10^5}{1,8 \cdot 10^5} = 11918,12 \text{ J/kg}$$

Para calcular la potencia real, se necesita el rendimiento, que dependerá del tipo de equipo de compresión instalado:

**Figura A4.15. Rangos de rendimiento según equipo de compresión.**

Compressor Type	Efficiency, $\eta$
Centrifugal	0.70 - 0.85
High Speed Reciprocating	0.72 - 0.85
Low Speed Reciprocating	0.75 - 0.90
Rotary Screw	0.65 - 0.75

Se hará uso de un compresor centrífugo, por lo que se considerará un rendimiento aproximado de:

$$\eta = 75 \%$$

Y con la ecuación A4.12 se obtendrá la potencia real de compresión:

$$w_{real} = \frac{W}{\eta} \cdot m \quad (\text{Ec. A4.12})$$

$$w_{real} = \frac{11918,12}{0,75} \cdot 1,326 = 3391,23 \text{ W} = 3,39 \text{ kW}$$

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Con todos los datos obtenidos, se puede seleccionar un compresor centrífugo comercial que cumpla la operación adecuadamente. En el Anexo V se muestra la ficha técnica del compresor seleccionado finalmente, del fabricante KNF.

## A5. ANEXO V: CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS.

### A5.1 INTRODUCCIÓN

En este documento Anexo se detallarán los detalles comerciales de los equipos del sistema diseñado. Como se ha detallado en varios apartados del proyecto, se ha llevado a cabo el diseño de prácticamente todos los equipos, los cuales se encargarán a fabricantes externos.

### A5.2 COLUMNA DE ABSORCIÓN CA-1

Es importante remarcar que la columna de absorción CA-1 no va a ser encargada en su totalidad, si no que como se ha realizado un diseño con un nivel de detalle bastante elevado, será construida directamente en la planta con las indicaciones detalladas en el pliego de condiciones.

En la tabla A5.1 se detallan las características de la columna y sus precios, que como se ha detallado arriba, serán diversos proveedores a los que se encarguen las distintas partes de esta.

**Tabla A5.1. Ficha técnica de la columna CA-1.**

<b>COLUMNA CA-1</b>		
<b>SECCIÓN CILÍNDRICA</b>		
<b>Proveedor</b>	Bachiller	
<b>Modelo</b>	Cilindro estándar a medida	
<b>Material</b>	Acero inoxidable austenítico AISI-304 1.4301	
<b>Dimensiones (m)</b>	Diámetro interno	0,8502
	Espesor	0,0075
	Diámetro externo	0,8562
	Longitud	2 x 4,087

<b>Función que desempeña</b>	Contención del relleno en la columna y de los accesorios necesarios.	
<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	15.000	
<b>Precio total (€)</b>	30.000	
<b>FONDOS/CABEZALES</b>		
<b>Proveedor</b>	Foncalp, S.L.	
<b>Modelo</b>	F-4 80-15	
<b>Dimensiones (m)</b>	0,253 x 0,8562	
<b>Función que desempeña</b>	Recogida y reparto de las corrientes fluidas, así como una distribución uniforme de la presión interna.	
<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	2500	
<b>Precio total (€)</b>	5000	
<b>ACCESORIOS</b>		
<b>DISTRIBUIDOR DE LÍQUIDO</b>	<b>Proveedor</b>	Enexio GEA
	<b>Modelo</b>	TDP 410
	<b>Dimensiones (m)</b>	0,15 x 0,8562
	<b>Precio (€)</b>	5000
<b>REDISTRIBUIDOR DE LÍQUIDO</b>	<b>Proveedor</b>	TCI industries
	<b>Modelo</b>	TCI DN1000
	<b>Dimensiones (m)</b>	0,17 x 0,8562
	<b>Precio (€)</b>	3500
<b>DISTRIBUIDOR DE GAS</b>	<b>Proveedor</b>	RVT Process Equipment GmbH
	<b>Modelo</b>	Estándar
	<b>Dimensiones (m)</b>	0,12 x 0,8562
	<b>Precio (€)</b>	5000
<b>REJAS DE SOPORTE</b>	<b>Proveedor</b>	RVT Process Equipment GmbH
	<b>Modelo</b>	Estándar
	<b>Dimensiones (m)</b>	0,05 x 0,8562

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

	<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	1500
	<b>Precio (€)</b>	3000
<b>ELIMINADOR DE NIEBLA</b>	<b>Proveedor</b>	Anping Hualai Metal Wire
	<b>Modelo</b>	Estándar
	<b>Dimensiones (m)</b>	0,08 x 0,8562
	<b>Precio (€)</b>	1000
<b>TOTAL ACCESORIOS</b>		<b>17500 €</b>
<b>RELLENO</b>		
<b>Proveedor</b>	Besora	
<b>Modelo</b>	Pall Ring PP	
<b>Dimensiones (mm)</b>	15,9 x 15,9	
<b>Función que desempeña</b>	Aumentar la superficie de contacto entre la fase líquida y la fase gas.	
<b>Imagen</b>		
<b>Precio</b>	400 €/m <sup>3</sup>	
<b>Precio total (€)</b>	1752	
<b>PRECIO TOTAL COLUMNA</b>		<b>54252 €</b>

Y a continuación, se proporcionan las fichas técnicas o catálogos de los fabricantes seleccionados.

# Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## Columnas y Torres

### Columnas diseñadas a medida

Bachiller diseña y construye a medida de todo tipo de columnas y torres de acuerdo con los principales códigos de diseño mecánico, utilizando los más modernos software de diseño y de acuerdo con las especificaciones particulares del cliente.

#### Diseño Mecánico

- × ASME VIII div.1 - AD-2000 - EN-13445 - BS-5500
- × Cálculos automatizados: Microprotol / Compress / PVElite
- × Diseño por elementos finitos (FEA)
- × Diseño a sismo y viento de acuerdo con regulaciones locales
- × Diseño de internos: platos, soportes y otros rellenos
- × Diseño de plataformas, escaleras, guías y fundaciones

#### Rangos de producción

- × **Peso:** Hasta 130 Tn
- × **Diámetro:** Desde 200 mm. hasta 7.500 mm
- × **Altura máxima:** Hasta 50.000 mm
- × **Espesores:** Desde 3 mm. hasta 50 mm
- × **Soldadura:**
  - ◆ Equipos de soldadura SMAW automáticos
  - ◆ Equipos de soldadura GMAW, FCAW y GTAW
  - ◆ Procedimientos de soldadura y soldadores homologados

#### Características

- × Suportación por faldones, cartelas o anillos de soporte
- × Fabricación de internos (platos, anillos, distribuidores, rejillas...)
- × Calefacción/refrigeración por camisa, media caña o dimplate
- × Serpentes interiores.
- × Haces tubulares insertados
- × Pulido interior mecánico, desde Ra<1.2 hasta Ra<0.2
- × Electropulido interior como opción
- × Escaleras, plataformas, barandillas

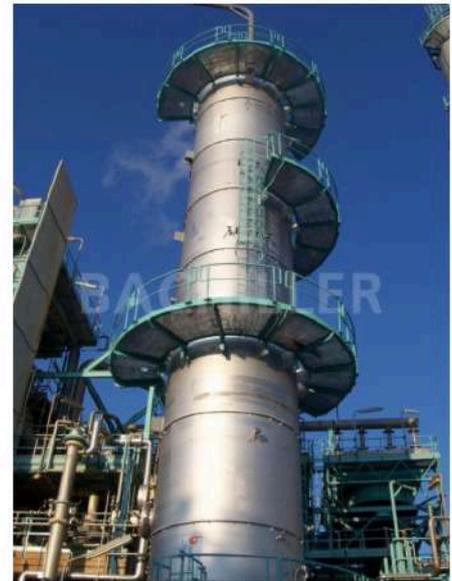
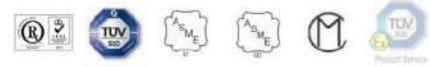
#### Sectores

- × Destilación
- × Fraccionamiento
- × Purificación
- × Rectificación
- × Evaporación
- × Oxidación
- × Regeneración catalítica
- × Separación

#### Materiales de construcción

- × Aceros inoxidable Austeníticos
- × Aceros inoxidable Superausteníticos
- × Aceros Dúplex y Superdúplex
- × Aleaciones de Níquel y Superaleaciones
- × Titanio
- × Cladding
- ◆ **programa completo de fabricación.**

 **SOLICITE INFORMACIÓN HOY MISMO**



click para  
ver más  
imágenes

**MATERIALES  
PROGRAMA DE FABRICACION COMPLETO**

ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

AISI-304 – 1.4301	AISI-316 L – 1.4401/1.4404
AISI-304 L – 1.4306	AISI-316 LhMo – 1.4435
AISI-304 L – 1.4307	AISI-316 LN – 1.4429
AISI-304 H – 1.4948	AISI-316 H – 1.4919
AISI-309 – 1.4823	AISI-316+Ti – 1.4571
AISI-309 S – 1.4833	AISI-317 L – 1.4438
AISI-310/310 S – 1.4845	AISI-317 LNM – 1.4439
AISI-310 L – 1.4335	AISI-321 – 1.4541
AISI-310 LNM	AISI-321 H – 1.4941
AISI-310 MoLN – 1.4466	AISI-347/347 H – 1.4550

ACEROS INOXIDABLES SUPERAUSTENÍTICOS

904 L – 1.4539	254SMO – 1.4547
904 LhMo – 1.4529	Sanicro28 – 1.4563
AL6XN	654SMO – 1.4652
Alloy 20 – 2.4660	

ACEROS DÚPLEX Y SÚPER DÚPLEX

LDX-2101 – 1.4162	SAF-2205 – 1.4462
SAF-2304 – 1.4362	SAF-2507 – 1.4410

ALEACIONES DE NÍQUEL Y SUPERALEACIONES

Nickel 200 – 2.4066	Incoloy 800/800H – 1.4876
Nickel 201 – 2.4068	Incoloy 825 – 2.4858
Monel 400 – 2.4360	Hastelloy C22 – 2.4602
Inconel 600 – 2.4816	Hastelloy C276 – 2.4819
Inconel 625 – 2.4856	Hastelloy B2 – 2.4617
Inconel 718 – 2.4668	Hastelloy X – 2.4665

TITANIO

Titanio Gr.1 – 3.7025	Titanio Gr. 7 – 3.7235
Titanio Gr.2 – 3.7035	Titanio Gr.12 – 3.7105

**FONCALP, S.L.**



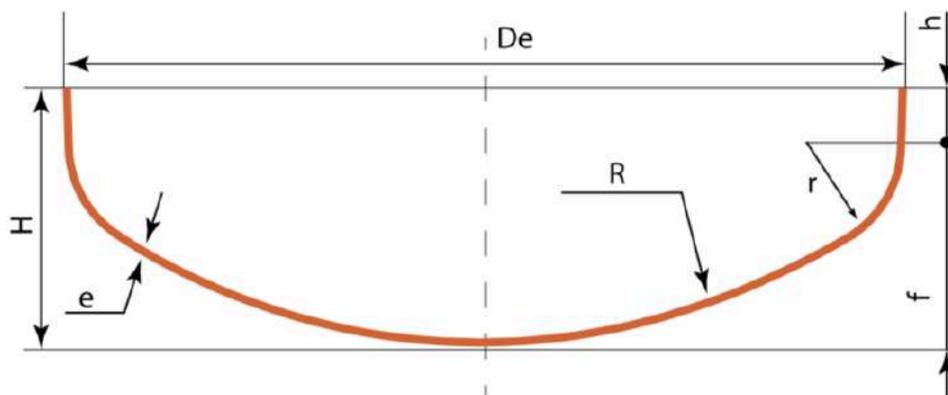
**FONCALP, S.L.**

C/ Nueva, nº. 81 Telf. 926 510 598  
 13.700 Tomelloso www.foncalp.es  
 (Ciudad Real) info@foncalp.es

## FICHA TÉCNICA

**F-4**  
 ALTA PRESIÓN  
 DIN 28013

**FONDO SEMIELÍPTICO**  
**TIPO KORBBOGEN**



$$R = 0,8 \cdot D$$

$$r = 0,15 \cdot D$$

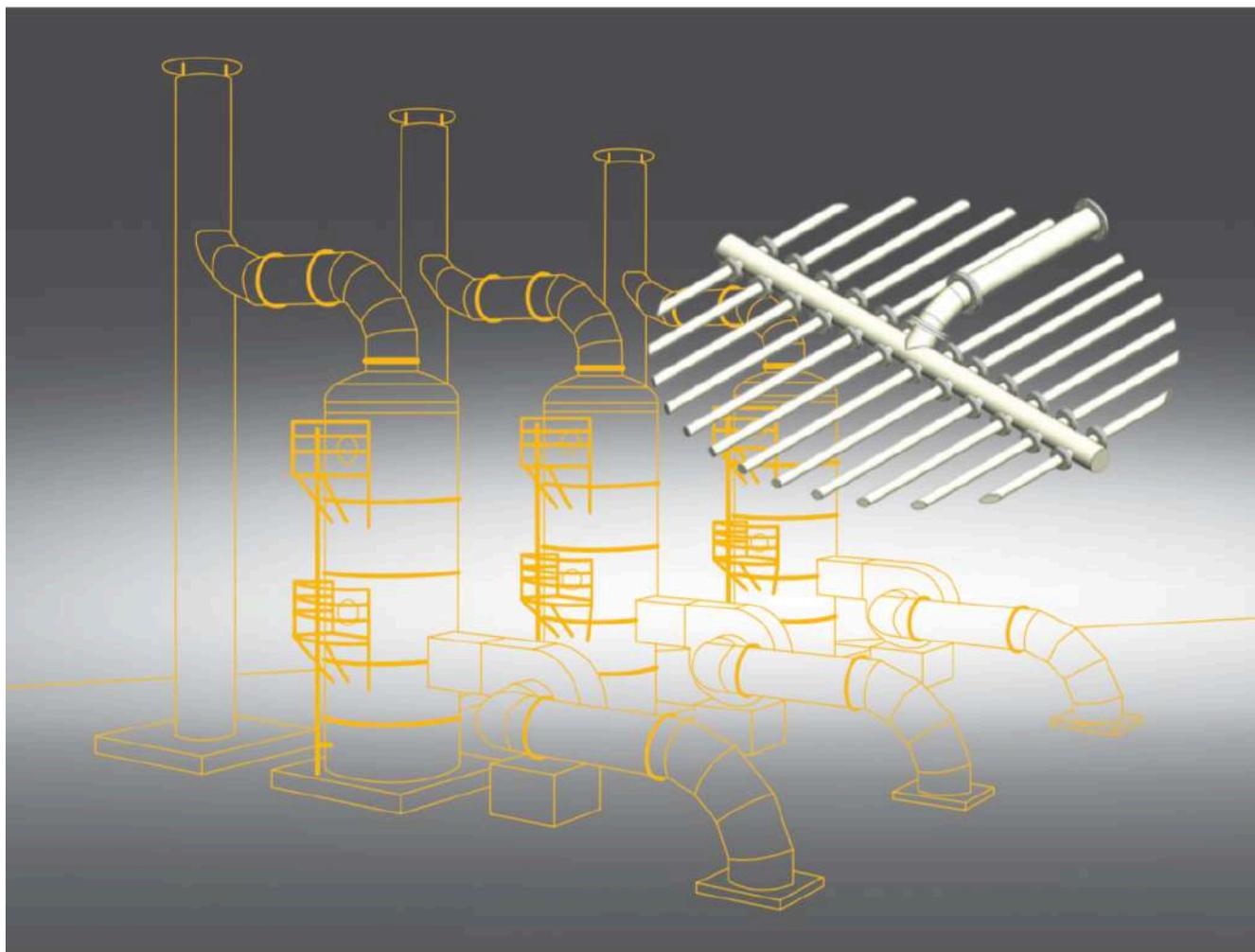
$$H = 0,255 \cdot D + h + e$$

### EQUIVALENCIA DE LOS SÍMBOLOS GENERALES

Diámetro = D	Espesor fondo = e	Altura de curvado = f
Diámetro disco = Dd	Radio de bombeo = R / Rb	Altura total fondo = H
Diámetro interior = Di	Radio de pestaña = r / rp	Volumen (litros) = V
Diámetro medio = Dm	Plano de pestaña = h	Arqueo del perfil = ar
Diámetro exterior = De		

Figuras referidas orientativa y no vinculadamente a norma asociada en su caso. Tolerancia de cotas según presupuesto. Si en él no se especifica, genéricamente serán las siguientes para fondos superiores a diámetro 400 mm: Rb= +/-20% rp= +/-20% h= +/-10mm

**FONCALP, S.L.**



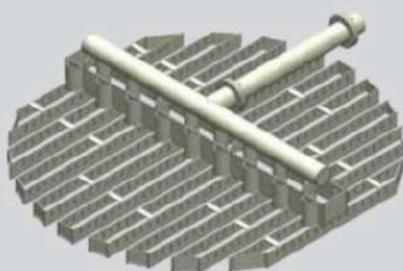
### GEA 2H MASSdek® – installations with HX-Factor

Selection aids and recommendations for liquid distributors



## GEA 2H liquid distributor TDP 410

Overflow weir distributor



### Technical specifications

#### Application

Diameter range	> 1,000 mm
Irrigation density range	15 to 40 (80) m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
Standard turn down	2.5 : 1 (for triangular slots 4 : 1)
Range of the maximum gas capacity	2.25 Pa <sup>0.5</sup>
Susceptibility to fouling	low

#### Advantages

- relative immunity to fouling and scaling
- low tendency to erosion
- large load range
- low component and operating costs

#### Standard version

In the standard version a distributor consists of parallel aligned U-troughs in the lower level and, above this, one or more parting boxes. The parting distributors have got overflow slots in their side walls on both sides. The liquid is channelled into the fine distribution level via guiding pipes. The liquid is then fed via regularly arranged overflow slots in the side walls of the lower troughs onto the packing bed.

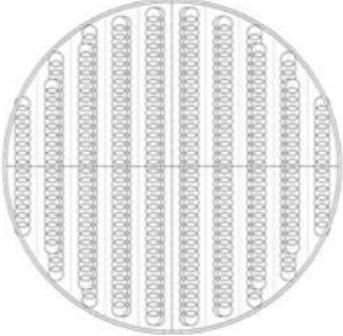
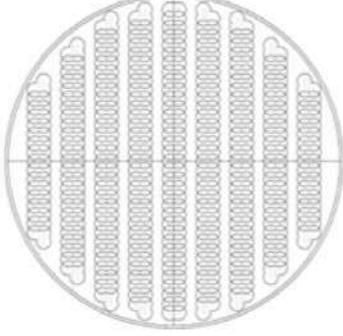
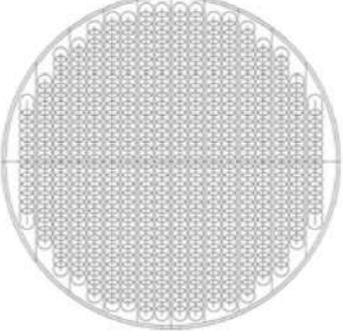
#### Main areas of application

The main areas of application are processes where liquids with large and very large volumes of suspended solids are to handle and liquids which are handled near to their solubility limit, in such cases also with triangular slots. The use of a weir distributor is preferable for absorption processes with a low gas and liquid capacity and with a low to mid-single digit number of transfer units.

#### Note

The distribution quality is extremely sensitive where there is a height offset. An overflow weir distributor can only be used for low to average gas capacities.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Distribution quality		
Overflow	Base hole	Side hole with pipe guidance system
		
Distribution quality = ca. 40 %	Distribution quality = ca. 60 %	Distribution quality = ca. 80 %
		
		

Distributor selection aids									
Physical driving force	Gravity						Pressure		
Principle of distribution	Distributor with free overflow		Distributor with liquid level using discharge holes						
Schematic description of the distributor output stage	Overflow distributor	Overflow distributor with liquid guidance system	Base hole	Side hole	Side hole with liquid guidance system and emergency overflow	Multiple side holes with liquid guidance system and emergency overflow	Pipe distributor, open	Pipe distributor, closed	Nozzle distributor
Example/type	TDP 410	TDP 410 So	TDP 400	TDP 420	TDP 420 So	TDP 420 So	LDP 210	LDP 200	NDP 310
Schematic diagram									
Assessment criterion	suitable in terms of " " : ++ = very well suited or recommended in terms of   + = suited or good in terms of   0 = partially or moderately suited in terms of   - = unsuited in terms of								
Distribution quality	-	-	+	++	++	+	+	+	-
Load range	++	++	+	+	+	++	0	+	-
Susceptibility to blockages	++	++	-	+	++	++	0	0	-
Low irrigation density	-	-	+	++	++	+	0	+	++
High irrigation density	+	+	+	+	++	++	+	++	+
High drip point density	0	0	++	+	+	+	0	0	-
High transfer unit number	-	-	+	++	++	++	+	0	-
High gas capacity	-	+	0	++	++	++	+	+	-
Levelling sensitivity	-	-	+	+	+	+	+	++	++
Height	+	0	0	0	0	+	+	++	++
Procurement costs in PP	++	+	+	0	-	-	+	++	++
Procurement costs CrNi-St.	+	-	+	-	-	-	0	0	++
Operating costs	++	++	+	+	+	+	0	0	-



PROCESS EQUIPMENT GMBH

SOBRE NOSOTROS CUERPOS Y RELLENOS INTERIORES DE COLUMNA INTERCAMBIO DE MATERIA CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES

## REJA DE SOPORTE



◀ volver

### REJA DE SOPORTE

Como soporte del relleno desordenado o estructurado de una columna, existen distintas variantes de rejillas de soporte dependiendo del caso de aplicación y del diámetro de la columna.

La carga que debe soportar la rejilla de soporte se compone de los distintos elementos:

- El peso del relleno
- El contenido de líquido (holdup) en funcionamiento
- La suciedad (fouling)
- La pérdida de presión del flujo de gas (en caso de flujo uniforme)
- Cargas de montaje

La rejilla de soporte debe estar construida de tal manera que perjudique en la menor medida posible los flujos de líquido y gas. Sobre todo entre el relleno estructurado y la rejilla de soporte existe el peligro de que si se elige mal la construcción de soporte, las aberturas de paso de gas acaben desplazadas por los elementos del relleno estructurado. Las rejillas de soporte necesitan un anillo portador continuo y uno o varios soportes intermedios para su colocación. Normalmente es suficiente con colocar las rejillas de soporte de forma suelta sobre el anillo portador. No obstante, si se esperan velocidades de gas elevadas, golpes de presión o inundaciones, se necesita sin falta una fijación al anillo portador.



PROCESS EQUIPMENT GMBH

SOBRE NOSOTROS CUERPOS Y RELLENOS INTERIORES DE COLUMNA INTERCAMBIO DE MATERIA CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES

## DISTRIBUIDOR DE GAS



◀ volver

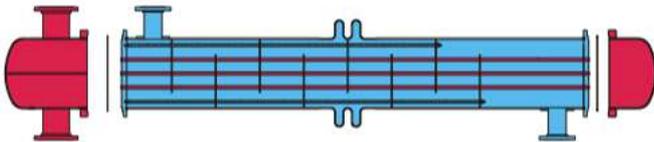
### DISTRIBUIDOR DE GAS

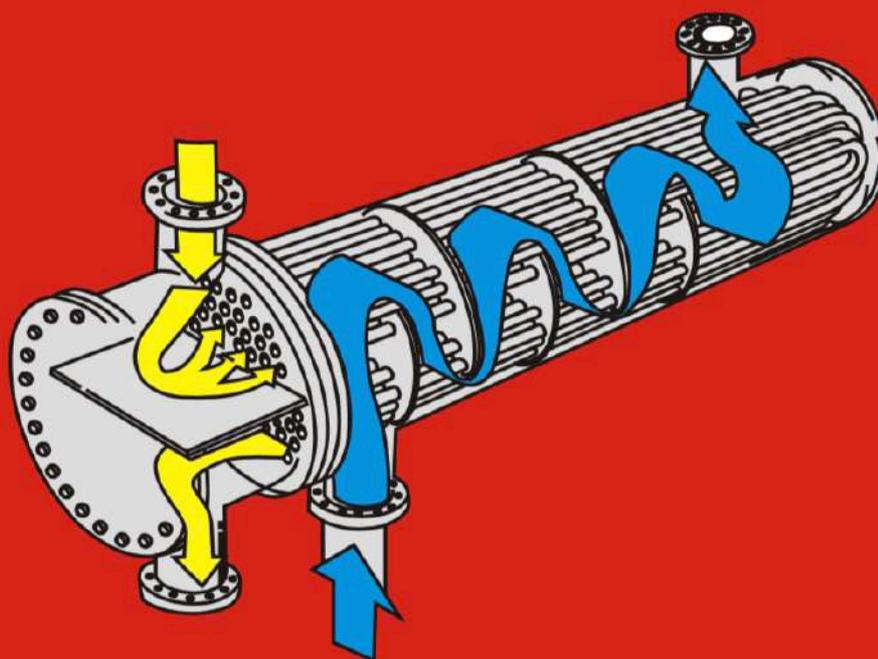
Los distribuidores de gas tienen la función de distribuir todo el gas de proceso alimentado a través de platos de columna o las rejillas de soporte y los rellenos de forma uniforme por toda la sección transversal de la columna. La pérdida de presión resultante debe mantenerse lo más reducida posible mediante las medidas constructivas adecuadas. Según el caudal, la velocidad del gas, la temperatura y los medios para tratar, RVT decide el diseño y los materiales de los distribuidores de gas y los fabrica en sus propias instalaciones.

## A5.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR IC-AA

El intercambiador de calor IC-AA ha sido diseñado en su totalidad, lo que facilita en gran medida el trato con el proveedor. En la tabla A5.2 se muestran las características técnicas del intercambiador.

**Tabla A5.2. Ficha técnica del IC-AA.**

<b>INTERCAMBIADOR IC-AA</b>	
<b>Proveedor</b>	Kinam Industries
<b>Modelo</b>	CTF B-Series
<b>Dimensiones (m)</b>	3,95 x 1 x 1
<b>Función que desempeña</b>	Actúa como un recuperador de calor que aprovecha la energía de la solución de amina que proviene del regenerador para calentar la solución de amina que se dirige a el.
<b>Imagen</b>	<p><b>Fixed Tube Sheet</b></p> 
<b>Precio total (€)</b>	<b>50.000</b>



- XTube® Corrugated Tube Heat Exchanger in technical collaboration with XLG, Spain
- Shell & Tube Heat Exchangers, Pressure Vessels & Allied Process Equipments

An ISO 9001:2008 Certified Company

## About us

Kinam, established in 1981, is one of the leading designers & manufacturers of Heat Exchangers, Pressure Vessels & allied custom built process equipments.

Specializing mainly in Heat Exchangers, Kinam has supplied over **3000** various types of Heat Exchangers to clients ranging from Chemical, Petrochemical, Fertilizers, Refineries, Power plants, Pharmaceutical, Biotech, Cosmetics & Textile Industries.

Kinam has a well equipped manufacturing unit - Located at Dapode (Mumbai - Nashik Highway) which is 10kms from Thane.

The manufacturing unit is approved by major consultants & the equipments undergo third party inspection from various TPI agencies /consultants like UHDE (India) Pvt. Ltd, Aker Solutions, Jacobs H & G Pvt. Ltd, Shroff & Associates, Dalal MottMacdonald Ltd, Chemtex Engineering Pvt. Ltd., TUV, Toyo Engg (I) Ltd, Chempro Inspection Pvt Ltd, Bureau Veritas, LRIS, SGS, etc.

Kinam has exported Heat Exchangers & allied equipments to Thailand, Malaysia, USA, Egypt, Bangladesh, Nepal, etc.

Apart from the high standards of design, engineering & fabrication, exemplary quality management & full technical documentation belong to every unit delivered by Kinam.

### Product Range:

- Shell & Tube Heat Exchanger
  - Fixed Tube Sheet
  - Floating Head
  - UTube
  - Kettle Reboiler
  - Hair Pin / Double Pipe
- **XTube®** Corrugated Tube Heat Exchanger
  - B Type
  - Pharmagrade
  - Monotube
  - Exotic
  - Foodgrade
- Pressure Vessels
- Exotic Metal Fabrication
- **CTF** Models of Standardized Heat Exchanger
- Sample Cooler & Closed Sampling System

### Materials we handle:-

- Austenitic Stainless Steel like (SS304L, SS316L, SS321, SS310 etc.)
- Carbon steel / LTCS
- Alloy Steel
- Hastelloy
- Inconel
- Monel
- Cu-Ni Alloys
- Titanium

### Standards we follow :-

- ASME
- TEMA Cl. R/C/B
- Admark Blaetter
- DIN
- BS
- IS
- API
- NACE



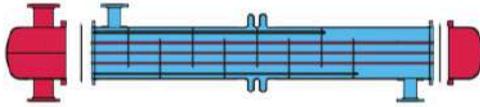
Factory at Dapode, Mumbai Nashik Highway



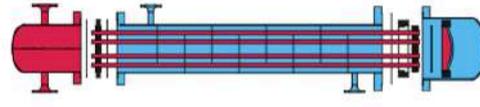
Office at Sion

## Shell & Tube Heat Exchanger

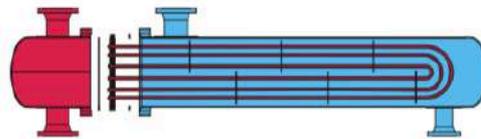
Fixed Tube Sheet



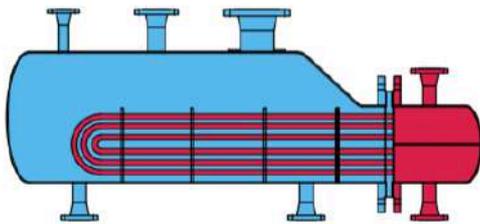
Floating Head



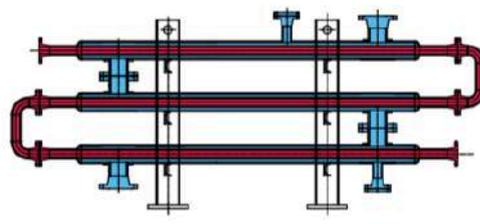
'U' Tube



Kettle Reboilers



Hair Pin / Double Pipe



Maximum Manufacturing Capacity for Heat Exchanger:

Description	Max. capacity
Shell Dia	3000 mm
Tubesheet Thk	200 mm
Overall Length	18 mtr.
Pressure	225 Kg/cm <sup>2</sup>
Weight	40 Ton
Heat Transfer Area Range	1m <sup>2</sup> to 1200m <sup>2</sup>

## CTF Standardized Heat Ex

The Broadest Selection Available for  Heat Exchanger

**C**ost Effective  
**T**hermally Efficient  
**F**ast Delivery



### CTF B - Series

for Chemical &  
Allied Process Industries



### CTF P - Series

for Pharmaceutical Industries

Kinam with its 32 years of vast experience has bought for the first time in India the Standardized Heat Exchanger Models. The **CTF** models (Cost Effective, Thermally Efficient & Fast Deliveries) provides maximum service performance at minimum cost. It comes with a standard design while easily providing various options to meet specific customer requirements.

#### Salient Features:

- The **CTF** Standardized Heat Exchanger results in consistent high quality & long term reliability.
- The standardized models are thermally efficient & its faster deliveries add value to our clients.
- Heat transfer area ranges from 0.4 m<sup>2</sup> to 100 m<sup>2</sup>
- Ideal for Pilot Plants or small size projects in Chemical & Pharmaceutical Industry.
- Delivery as short as 3 to 4 weeks is possible for selected models.
- Available in both options – Plain Tube & Corrugated Tube.
- Close fit tolerance of Tube Holes as per TEMA Class 'C'
- Precision drilled baffles & minimum gap between baffle OD to shell ID to minimize fluid by-pass & ensure maximum heat transfer.
- Designed to provide excellent gasket sealing.
- Tube to Tubesheet joint is strength welded & light expansion.
- Available with inspection under Reputed Third Party Agency.

#### Specifications:

- BEM Model TEMA Class C.
- Design Pressure: 8 kg/cm<sup>2</sup>
- Design Temperature: 250°C
- Number of Tube side passes: 1, 2 & 4
- Tube Diameter: 19.05 mm x 1.6 mm thk (Seamless & welded option)
- MOC: SS 304/SS 316/Hastelloy options available.
- Nozzle sizes can be provided as per process requirement.
- Expansion bellow can be provided as per design requirement.
- Available with Vertical or Horizontal orientation.

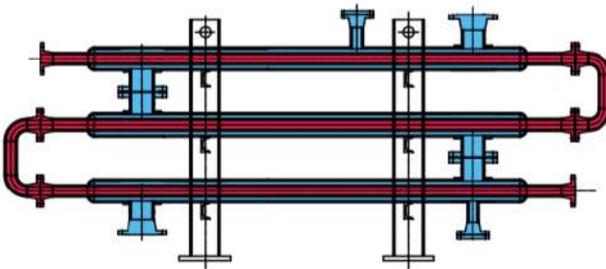
*Get an instant quote with faster delivery for your immediate purchase.*

Call "The Heat Exchanger Specialist" to know more about **CTF** Standardized Heat Ex

### A5.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR ICC

El intercambiador de calor complementario supone un equipo adicional al equipo de intercambio de calor principal. Su ficha técnica se muestra en la tabla A5.3.

**Tabla A5.3. Ficha técnica del intercambiador ICC.**

<b>INTERCAMBIADOR ICC</b>	
<b>Proveedor</b>	Kinam Industries
<b>Modelo</b>	X-Tube Monotube
<b>Dimensiones (m)</b>	1,3 x 0,5 x 0,5
<b>Función que desempeña</b>	Actúa como un equipo de enfriamiento de la solución de amina que debe introducirse a la columna CA-1, utilizando agua como refrigerante.
<b>Consumo de agua (kg/h)</b>	290
<b>Imagen</b>	<p style="text-align: center;"><b>Hair Pin / Double Pipe</b></p> 
<b>Precio total (€)</b>	<b>25.000</b>

Y a continuación se proporciona el catálogo del fabricante. No se ha introducido el catálogo completo dado que compartía la mayoría de su extensión con el catálogo proporcionado en el equipo IC-AA.

## XTube® range of Corrugated Tube Heat Exchanger

In Technical Collaboration with  
**XLG** Heat Transfer SL., Spain.

### Advantages:

- Higher Heat Transfer Co-efficient
- Heat Transfer Area Reduced by 30 - 50%
- Compact Size
- Cost reduction by 25 - 50%
- Reduced Fouling

### XTube® B TYPE



- These are fixed shell & tube type heat exchanger having multiple corrugated tubes.
- Application in Chemical industry, Petrochemical industry, Refineries, Paints, Oil, Soaps & Various industrial applications.
- Removable 'U' Bundle design is also possible.

### XTube® PHARMAGRADE



- Designed for use in pharmaceutical or biotech applications.
- All contact parts have a surface roughness  $Ra < 0.4 \mu m$ .
- Manufactured as per GMP standards.

### XTube® MONOTUBE



- These are corrugated tube heat exchanger formed by two concentric tubes.
- The fluid to be treated is normally passed through the corrugated inner tube and the service fluid, providing the source of cooling or heating, passes through the annulus formed by the two tubes.

### XTube® EXOTIC



- These are multitube CTHE made from exotic materials like Titanium, Hastelloy, Monel, Inconel & even Duplex steels.
- Welding done in special dedicated closed clean room area.
- Offers significant savings compared to plain tube heat exchanger or plate heat exchanger.

### XTube® FOODGRADE



- Design for use in sanitary application in the Food & Dairy Industry.
- Triplet tube and Multitube configuration.
- All contact parts have surface roughness of  $Ra < 0.8 \mu m$ .
- Application includes process such as pasteurisation, high temperature sterilisation, thermal treatment for aseptic packaging etc.

#### A5.4 COLUMNA DE REGENERACIÓN CRG-1

Como se ha detallado en la memoria descriptiva, este es el único equipo que no ha sido diseñado total o parcialmente en el desarrollo del proyecto. Se optará por un modelo comercial, que el fabricante diseñará en función de las características que se le aporten. Para su consideración en el presupuesto, así como en los planos y en todo el sistema de conducciones, aquí se detallarán unas dimensiones y precios que corresponden a valores habituales para este tipo de equipos. En la tabla A5.4 se muestra la ficha técnica de la columna de regeneración CRG-1.

**Tabla A5.4. Ficha técnica columna CRG-1.**

COLUMNA CRG-1	
<b>Proveedor</b>	Bachiller
<b>Modelo</b>	Estándar a medida
<b>Tipo de columna de absorción</b>	Columna de platos
<b>Tipo de platos</b>	Perforados
<b>Nº de platos</b>	De 10 a 30
<b>Dimensiones (m)</b>	6 x 0,8
<b>Imagen</b>	
<b>Precio total (€)</b>	<b>350.000</b>

En este caso no se aporta catálogo del fabricante, dado que es el mismo que fabricará la envolvente cilíndrica de la columna CA-1, y ya ha sido aportado.

## A5.5 CONDUCCIONES

Las conducciones del sistema han quedado definidas en el Anexo IV de este proyecto, y a continuación en la tabla A5.5 se muestra su ficha técnica y el correspondiente catálogo del fabricante. Además, se detallan también los detalles de los accesorios de las conducciones y sus correspondientes catálogos.

**Tabla A5.5. Ficha técnica de las conducciones.**

<b>CONDUCCIONES</b>		
<b>Proveedor</b>	Vemacero	
<b>Modelo</b>	STD	
<b>Material</b>	Acero al carbono A106	
<b>Diámetro nominal DN</b>	Tramos 2, 4, 5, 6 y 7	15 mm
	Tramos 1 y 3	100 mm
<b>Espesor</b>	Tramos 2, 4, 5, 6 y 7	2,77 mm
	Tramos 1 y 3	6,02 mm
<b>Precio unitario (€/m)</b>	DN15	12
	DN100	14,5
<b>Precio total (€)</b>	(El total queda desglosado en la partida presupuestaria relativa a las conducciones)	
<b>ACCESORIOS DE CONDUCCIONES</b>		
<b>Válvulas de asiento</b>		
<b>Proveedor</b>	Salvador Escoda, S.A.	
<b>Material</b>	Hierro con cierre en acero inoxidable	
<b>Modelo</b>	Tramos 1 y 3	AA 02 139 (DN100)
	Tramos 6 y 7	AA 02 131 (DN15)

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

<b>Imagen</b>		
<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	AA 02 139	436,15
	AA 02 131	94,30
<b>Precio total (€)</b>	1060,9	
<b>Codos de conducciones (90°)</b>		
<b>Proveedor</b>	Tubasol, S.A.	
<b>Material</b>	Acero al carbono	
<b>Modelo</b>	Tramos 1 y 3	Radio corto ASME B16.9
	Tramos 2, 4, 5, 6 y 7	Radio largo ASME B16.9
<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	Radio corto ASME B16.9	16,50
	Radio largo ASME B16.9	12,50
<b>Precio total (€)</b>	702	
<b>Reducción 150-100 (Tramo 1)</b>		
<b>Proveedor</b>	Tubasol, S.A.	
<b>Modelo</b>	Reducción DN150-100 forma 2.	
<b>Material</b>	Acero al carbono	
<b>Precio (€)</b>	11,50	

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.



**TUBERIA DE ACERO AL CARBONO  
ASTM A53 / A106  
Area de La Superficie del Tubo**

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		Área de La Superficie Exterior en m <sup>2</sup> por metro lineal de tubería
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	0.084
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	0.105
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	0.132
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	0.152
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	0.190
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	
2-1/2	65	2.875	73.03	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	0.229
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	
				0.375	9.52	-	160	-	-	
				0.552	14.02	XXS	-	-	-	
3	80	3.500	88.90	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	0.279
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	
				0.250	6.35	-	-	8.68	12.93	
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.40	
				0.300	7.62	XS	80	10.25	15.27	
4	100	4.500	114.30	0.125	3.18	-	-	5.84	8.71	0.359
				0.156	3.96	-	-	7.24	10.78	
				0.188	4.78	-	-	8.66	12.91	
				0.219	5.56	-	-	10.01	14.91	
				0.237	6.02	STD	40	10.79	16.07	
				0.250	6.35	-	-	11.35	16.90	
				0.281	7.14	-	-	12.66	18.87	
				0.312	7.92	-	-	13.98	20.78	
				0.337	8.56	XS	80	14.98	22.32	
				0.438	11.13	-	120	19.00	28.32	
				0.531	13.49	-	160	22.51	33.54	
0.674	17.12	XXS	-	27.54	41.03					
5	125	5.563	141.29	0.188	4.78	-	-	10.79	16.09	0.444
				0.219	5.56	-	-	12.50	18.61	
				0.258	6.55	STD	40	14.62	21.77	
				0.281	7.14	-	-	15.85	23.62	
				0.312	7.92	-	-	17.50	26.05	
				0.344	8.74	-	-	19.17	28.57	
				0.375	9.52	XS	80	20.78	30.94	
6	150	6.625	168.28	0.188	4.78	-	-	12.92	19.27	0.529
				0.219	5.56	-	-	14.98	22.31	
				0.250	6.35	-	-	17.02	25.36	
				0.280	7.11	STD	40	18.97	28.26	
				0.312	7.92	-	-	21.04	31.32	
				0.344	8.74	-	-	23.08	34.39	
				0.375	9.52	-	-	25.02	37.28	
				0.432	10.97	XS	80	28.57	42.56	
				0.562	14.27	-	120	36.39	54.20	
				0.719	18.26	-	160	45.35	67.56	
				0.864	21.95	XXS	-	53.16	79.22	

Tel/Fax. (0251) 269-2998, 269-2487  
Cel. (0414) 533-5833

Zona Industrial Carrera 2 Modulo E , Barquisimeto

1 de 3

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.



**TUBERIA DE ACERO AL CARBONO  
ASTM A53 / A106  
Area de La Superficie del Tubo**

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		Área de La Superficie Exterior en mt2 por metro lineal de tubería
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	
8	200	8.625	219.08	0.188	4.78	-	-	16.94	25.26	
				0.203	5.16	-	-	18.26	27.22	
				0.219	5.56	-	-	19.66	29.28	
				0.250	6.35	-	20	22.36	33.31	
				0.277	7.04	-	30	24.70	36.81	
				0.312	7.92	-	-	27.70	41.24	
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	
				0.344	8.74	-	-	30.42	45.34	
				0.375	9.52	-	-	33.04	49.20	
				0.406	10.31	-	60	35.64	53.08	
				0.438	11.13	-	-	38.30	57.08	
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	
				0.594	15.09	-	100	50.95	75.92	
				0.719	18.26	-	120	60.71	90.44	
				0.812	20.62	-	140	67.76	100.92	
0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88					
0.906	23.01	-	160	74.69	111.27					
10	250	10.750	273.05	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	0.858
				0.203	5.16	-	-	22.87	34.08	
				0.219	5.56	-	-	24.63	36.67	
				0.250	6.35	-	20	28.04	41.75	
				0.279	7.09	-	-	31.20	46.49	
				0.307	7.80	-	30	34.24	51.01	
				0.344	8.74	-	-	38.23	56.96	
				0.365	9.27	STD	40	40.48	60.29	
				0.438	11.13	-	-	48.19	71.87	
				0.500	12.70	XS	60	54.71	81.52	
				0.594	15.09	-	80	64.43	95.97	
				0.719	18.26	-	100	77.03	114.70	
				0.844	21.44	-	120	89.29	133.00	
				1.000	25.40	XXS	140	104.13	155.09	
				1.125	28.57	-	160	115.65	172.21	
12	300	12.750	323.85	0.203	5.16	-	-	27.20	40.55	1.017
				0.219	5.56	-	-	29.31	43.63	
				0.250	6.35	-	20	33.38	49.71	
				0.281	7.14	-	-	37.42	55.75	
				0.312	7.92	-	-	41.45	61.69	
				0.330	8.38	-	30	43.77	65.18	
				0.344	8.74	-	-	45.58	67.90	
				0.375	9.52	STD	-	49.52	73.78	
				0.406	10.31	-	40	53.52	79.70	
				0.438	11.13	-	-	57.59	85.82	
				0.500	12.70	XS	-	65.42	97.43	
				0.562	14.27	-	60	73.15	108.92	
				0.688	17.28	-	80	88.63	132.04	
				0.844	21.44	-	100	107.32	159.86	
				1.000	25.40	XXS	120	125.49	186.91	
1.125	28.57	-	140	139.68	208.00					
1.312	33.32	-	160	160.27	238.68					

# Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.



## TUBERIA DE ACERO AL CARBONO ASTM A53 / A106 Area de La Superficie del Tubo

Diámetro Nominal		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		Área de La Superficie Exterior en mt <sup>2</sup> por metro lineal de tubería
NPS	DN	Real		Pulgadas	Milímetros	Weight Class	Schedule	Peso del Tubo		
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	(in.)	(mm.)			lb/pie	kg/m	
14	350	14.00	355.60	0.250	6.35	-	10	36.71	54.69	1.117
				0.281	7.14	-	-	41.17	61.35	
				0.312	7.92	-	20	45.61	67.90	
				0.344	8.74	-	-	50.17	74.76	
				0.375	9.52	STD	30	54.57	81.25	
				0.438	11.13	-	40	63.44	94.55	
				0.469	11.91	-	-	67.78	100.94	
				0.500	12.70	XS	-	72.09	107.39	
16	400	16.00	406.40	0.250	6.35	-	10	42.05	62.64	1.277
				0.281	7.14	-	-	47.17	70.30	
				0.312	7.92	-	20	52.27	77.83	
				0.344	8.74	-	-	57.52	85.71	
				0.375	9.52	STD	30	62.58	93.17	
				0.438	11.13	-	-	72.80	108.49	
				0.469	11.91	-	-	77.79	115.86	
				0.500	12.70	XS	40	82.77	123.30	
18	450	18.000	457.20	0.250	6.35	-	10	47.39	70.60	1.436
				0.281	7.14	-	-	53.18	79.24	
				0.312	7.92	-	20	58.94	87.75	
				0.344	8.74	-	-	64.87	96.66	
				0.375	9.52	STD	-	70.59	105.10	
				0.406	10.31	-	-	76.29	113.62	
				0.438	11.13	-	30	82.15	122.43	
				0.469	11.91	-	-	87.81	130.78	
				0.500	12.70	XS	-	93.45	139.20	
20	500	20.000	508.00	0.250	6.35	-	10	52.73	78.55	1.596
				0.281	7.14	-	-	59.18	88.19	
				0.312	7.92	-	-	65.60	97.67	
				0.344	8.74	-	-	72.21	107.60	
				0.375	9.52	STD	20	78.60	117.02	
				0.406	10.31	-	-	84.96	126.53	
				0.438	11.13	-	-	91.51	136.37	
				0.469	11.91	-	-	97.83	145.70	
				0.500	12.70	XS	30	104.13	155.12	
24	600	24.000	609.60	0.250	6.35	-	10	63.41	94.46	1.915
				0.281	7.14	-	-	71.18	106.08	
				0.312	7.92	-	-	78.93	117.51	
				0.344	8.74	-	-	86.91	129.50	
				0.375	9.52	STD	20	94.62	140.88	
				0.406	10.31	-	-	102.31	152.37	
				0.438	11.13	-	-	110.22	164.26	
				0.469	11.91	-	-	117.86	175.54	
				0.500	12.70	XS	-	125.49	186.94	
0.562	14.27	-	30	140.68	209.50					

Tolerancias dimensionales:

Espesor: ±12,5% de espesor nominal en cualquier punto del tubo.

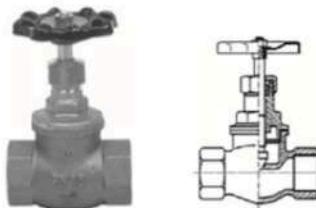
Peso: ±10% del paquete de tubos con diámetro menor o igual a 4" (114,3mm) o tubos individuales con diámetro nominal mayor a 4" (114,3mm)

Diámetro externo: Para diámetro menores o iguales a 1-1/2" (48,3mm) +0,016 pulg (+0,40mm)

Para diámetro mayores o iguales a 2" (60,3mm) ± 1%



## 02 VÁLVULAS DE ASIENTO



Código	Artículo	€
<b>VÁLVULAS DE ASIENTO INCLINADO DE LATÓN</b>		
AA 02 011	Rosca 1/2"	12,15
AA 02 012	Rosca 3/4"	17,21
AA 02 013	Rosca 1"	27,81
AA 02 014	Rosca 1-1/4"	45,55
AA 02 015	Rosca 1-1/2"	61,73
AA 02 016	Rosca 2"	98,63
<b>VÁLVULAS DE VACIADO DE LATÓN</b>		
AA 02 401	Rosca 3/8"	14,47
AA 02 402	Rosca 1/2"	20,25
AA 02 403	Rosca 3/4"	29,08
AA 02 404	Rosca 1"	47,93
<b>VÁLVULAS DE VACIADO DE LATÓN CON PORTAGOMA Y TAPÓN DE CIERRE</b>		
AA 02 411	Rosca 3/8"	9,08
AA 02 412	Rosca 1/2"	10,20
AA 02 413	Rosca 3/4"	19,70
<b>VÁLVULAS "JENKINS" DE BRONCE CIERRE TEFLÓN, PN-16</b>		
AA 02 071	Rosca 1/4"	33,46
AA 02 072	Rosca 3/8"	33,46
AA 02 073	Rosca 1/2"	34,73
AA 02 074	Rosca 3/4"	39,94
AA 02 075	Rosca 1"	50,61
AA 02 076	Rosca 1-1/4"	81,14
AA 02 077	Rosca 1-1/2"	108,53
AA 02 078	Rosca 2"	179,65
AA 02 079	Rosca 2-1/2"	379,82
AA 02 080	Rosca 3"	506,35
<b>VÁLVULAS DE ASIENTO CÓNICO (REGULACIÓN) DE BRONCE, PN-16</b>		
AA 02 111	Rosca 3/8"	38,02
AA 02 112	Rosca 1/2"	38,02
AA 02 113	Rosca 3/4"	43,90
AA 02 114	Rosca 1"	60,30
AA 02 115	Rosca 1-1/4"	99,60
AA 02 116	Rosca 1-1/2"	128,97
AA 02 117	Rosca 2"	286,04

## 02 VÁLVULAS DE ASIENTO



Código	Artículo	€
<b>VÁLVULAS DE ASIENTO DE HIERRO, CIERRE INOX. CON BRIDAS PN-16</b>		
AA 02 131	DN - 15	94,30
AA 02 132	DN - 20	110,03
AA 02 133	DN - 25	117,88
AA 02 134	DN - 32	145,37
AA 02 135	DN - 40	165,03
AA 02 136	DN - 50	208,24
AA 02 137	DN - 65	263,27
AA 02 138	DN - 80	349,69
AA 02 139	DN - 100	436,15
AA 02 140	DN - 125	678,20
AA 02 141	DN - 150	880,15
AA 02 142	DN - 200	1.779,95
<b>VÁLVULAS DE FUELLE DE HIERRO FUNDIDO CON BRIDAS PN - 16, TEMPERATURA: 300°C</b>		
AA 02 301	DN - 15	182,84
AA 02 302	DN - 20	197,88
AA 02 303	DN - 25	276,46
AA 02 304	DN - 32	270,48
AA 02 305	DN - 40	305,56
AA 02 306	DN - 50	385,58
AA 02 307	DN - 65	515,98
AA 02 308	DN - 80	661,25
AA 02 309	DN - 100	861,63
AA 02 310	DN - 125	1.365,08
AA 02 311	DN - 150	1.723,24
AA 02 312	DN - 200	3.972,52

## VÁLVULAS DE ASIENTO CON ACTUADOR NEUMÁTICO

### Características técnicas:

- Función: normalmente cerrada
- Cuerpo: bronce o inox.
- Asiento de cierre: teflón
- Presión de pilotaje: 4-10 bar
- E.V. piloto: 3/2 vías N.C. 1/8
- Presiones de trabajo: ver tablas
- Temperaturas de trabajo: -40 a 200°C
- Viscosidad máxima: 600 cst

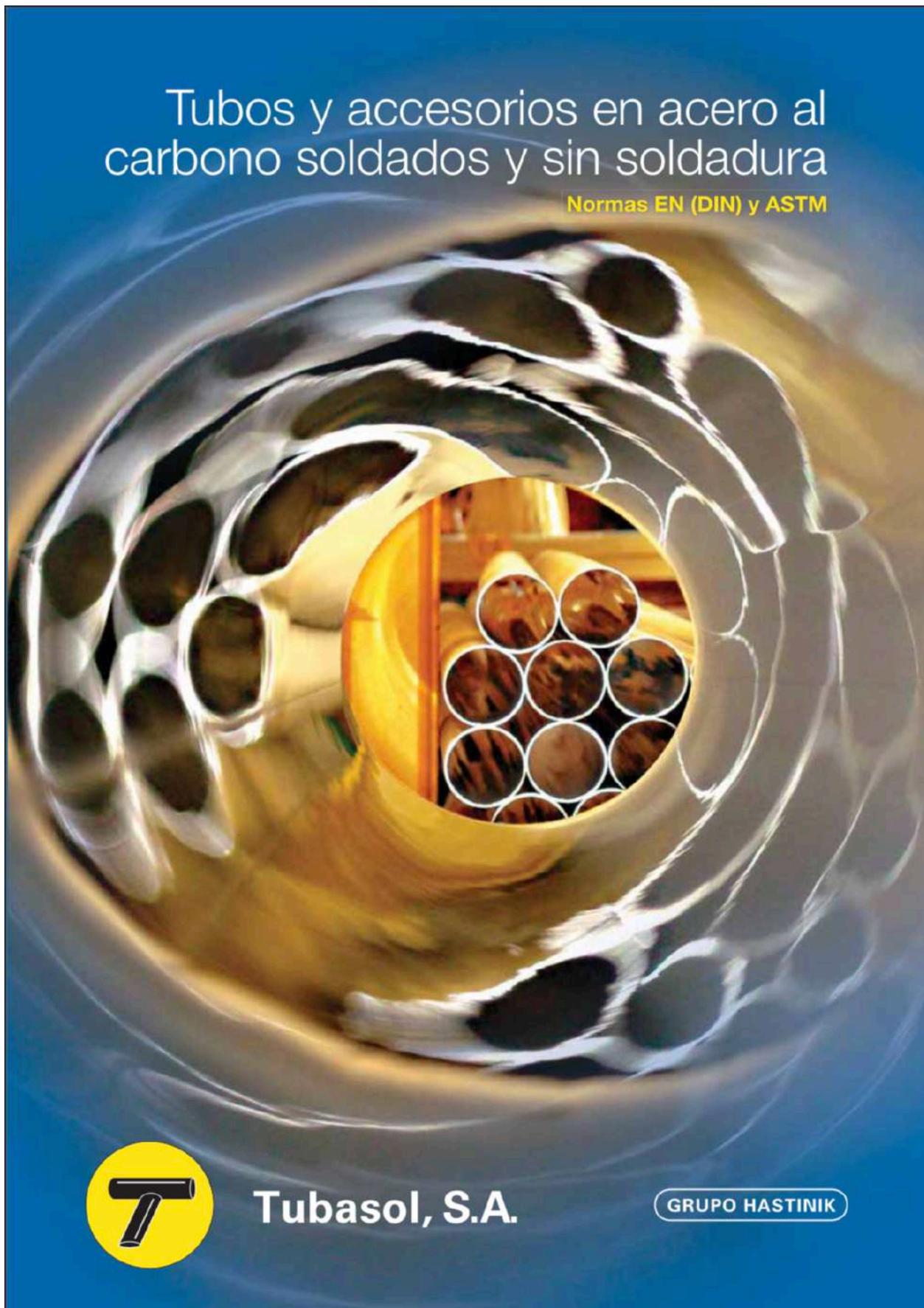


Funcionamiento: Accionada mediante operador 3/2NC, sin corriente no pasa aire comprimido al cabezal de la válvula; ésta permanece cerrada. Al dar corriente, pasa aire al cabezal, levantando el pistón de la válvula, abriendo el paso de fluido aguas abajo.

Código	Artículo	Presión de trabajo	€
<b>CUERPO DE BRONCE</b>			
AA 02 521	Rosca 1/2"	0-16 bar	159,36
AA 02 522	Rosca 3/4"	0-16 bar	175,86
AA 02 523	Rosca 1"	0-16 bar	221,26
AA 02 524	Rosca 1-1/4"	0-16 bar	296,37
AA 02 525	Rosca 1-1/2"	0-16 bar	336,89
AA 02 526	Rosca 2"	0-11 bar	410,33
<b>CUERPO DE INOX. AISI-316 Ti</b>			
AA 02 531	Rosca 1/2"	0-16 bar	196,57
AA 02 532	Rosca 3/4"	0-16 bar	217,30
AA 02 533	Rosca 1"	0-16 bar	304,56
AA 02 534	Rosca 1-1/4"	0-16 bar	368,25
AA 02 535	Rosca 1-1/2"	0-16 bar	419,00
AA 02 536	Rosca 2"	0-11 bar	509,90
<b>ELECTROVÁLVULA PILOTO</b>			
	• 3/2 N.C. 1/8" • Presión: 0-10 bar		
CO 01 072	• Cuerpo válvula sin bobina PM-141 BV	Descontos CO..	69,54
CO 01 525	• Bobinas ZB-09 220 VCA		19,00
CO 01 522	ZB-09 24 VCA		21,40
CO 01 801	Conector bipolar DIN 43650		2,00

# Tubos y accesorios en acero al carbono soldados y sin soldadura

Normas EN (DIN) y ASTM



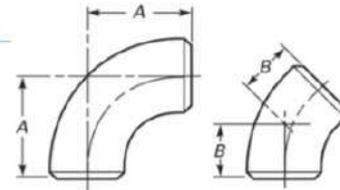
**Tubasol, S.A.**

GRUPO HASTINIK



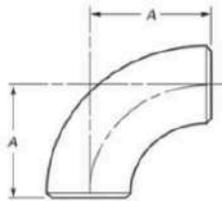
## Accesorio acero al carbono ASTM

CODOS 90°/45° RADIO LARGO según ASME B16.9  
Sin soldadura o soldados  
Material según ASTM A-234 WPB



Diámetro nominal NPS	Diámetro exterior en bisel	Centro-Extremo		STD		XS	
		90° A	45° B	Espesor	Peso aprox. (kg)	Espesor	Peso aprox. (kg)
1/2	21,3	38	16	2,77	0,077	3,73	0,100
3/4	26,7	38	19	2,87	0,077	3,91	0,100
1	33,4	38	22	3,38	0,154	4,55	0,195
1 1/4	42,2	48	25	3,56	0,263	4,85	0,340
1 1/2	48,3	57	29	3,68	0,376	5,08	0,481
2	60,3	76	35	3,91	0,676	5,54	0,907
2 1/2	73,0	95	44	5,16	1,33	7,01	1,73
3	88,9	114	51	5,49	2,08	7,62	2,78
3 1/2	101,6	133	57	5,74	2,92	8,08	3,96
4	114,3	152	64	6,02	3,95	8,56	5,40
5	141,3	190	79	6,55	6,67	9,52	9,34
6	168,3	229	95	7,11	10,4	10,97	15,5
8	219,1	305	127	8,18	20,9	12,70	31,3
10	273,0	381	159	9,27	37,0	12,70	49,4
12	323,8	457	190	9,52	54,0	12,70	71,2
14	355,6	533	222	9,52	69,9	12,70	91,6
16	406,4	610	254	9,52	91,2	12,70	120,2
18	457	686	286	9,52	116,1	12,70	153,3
20	508	762	318	9,52	143,8	12,70	190,1
22	559	838	343	9,52	174,6	12,70	238
24	610	914	381	9,52	207,7	12,70	274,9
26	660	991	405	9,52	244,5	12,70	323,4
28	711	1067	438	9,52	-	12,70	-
30	762	1143	470	9,52	326,6	12,70	432,3
32	813	1219	502	9,52	-	12,70	-
34	864	1295	533	9,52	420	12,70	558,5
36	914	1372	565	9,52	471,7	12,70	626,0
38	965	1448	600	9,52	-	12,70	-
40	1016	1524	632	9,52	590	12,70	794
42	1067	1600	660	9,52	644,1	12,70	852,7

Todas las dimensiones son en milímetros  
Bajo demanda podemos suministrar material aleado para aplicaciones tanto para alta temperatura (A-234) como baja temperatura (A-420)



## Accesorio acero al carbono ASTM

CODO 90° RADIO CORTO según ASME B16.9  
Sin soldadura o soldados  
Material según ASTM A-234 WPB

Diámetro nominal NPS	Diámetro exterior en bisel	Centro-Extremo 90°	STD		XS	
			Espesor	Peso aprox. (kg)	Espesor	Peso aprox. (kg)
1	33.4	25	-	-	-	-
1 1/4	42.2	32	-	-	-	-
1 1/2	48.3	38	3.38	0.104	5.08	0.132
2	60.3	51	3.56	0.172	5.54	0.227
2 1/2	73.0	64	3.68	0.249	7.01	0.327
3	88.9	76	3	0.449	7.62	0.603
3 1/2	101.6	89	5.16	0.875	8.08	1.14
4	114.3	102	5	1.38	8.56	1.83
5	141.3	127	5.74	1.93	9.52	2.61
6	168.3	152	6.02	2.62	10.97	3.58
8	219.1	203	6.55	4.42	12.70	6.21
10	273.0	254	7.11	6.89	12.70	10.3
12	323.8	305	8.18	13.8	12.70	20.7
14	355.6	356	9.27	24.5	12.70	32.9
16	406.4	406	9.52	36.1	12.70	47.2
18	457	457	9.52	46.3	12.70	61.2
20	508	508	9.52	61.2	12.70	80.3
22	560	550	9.52	77.6	12.70	102.1
24	610	610	9.52	96.2	12.70	126.1

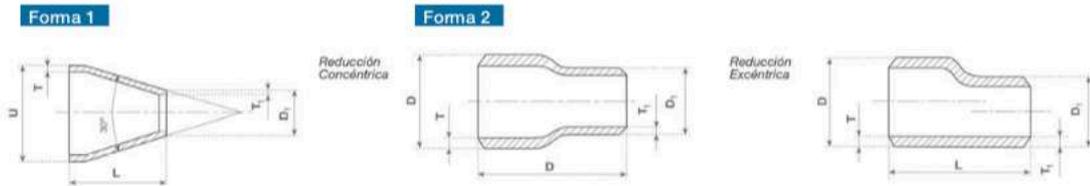
Todas las dimensiones son en milímetros

Bajo demanda podemos suministrar material aleado para aplicaciones tanto para alta temperatura (A-234) como baja temperatura (A-420)



## Reducciones concéntricas y excéntricas

Accesorios soldables a tope EN 10253-1 (DIN 2616-1)



REDUCCIONES FORMA 1

Extremo D			Extremo D1			Longitud L	Peso aprox. kg
DN	D	T	DN	D <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>		
25	33,7	2,6	20	26,9	2,3	35	0,11
32	42,4	2,6	20	26,9	2,3	51	0,15
			25	33,7	2,6	39	
40	48,3	2,6	20	26,9	2,3	67	0,18
			25	33,7	2,6	55	
			32	42,4	2,6	38	
50	60,3	2,9	25	33,7	2,6	77	0,30
			32	42,4	2,6	61	
			40	48,3	2,6	50	
65	76,1	2,9	32	42,4	2,6	95	0,40
			40	48,3	2,6	84	
			50	60,3	2,9	63	
80	88,9	3,2	40	48,3	2,6	108	0,56
			50	60,3	2,9	86	
			65	76,1	2,9	56	
100	114,3	3,6	50	60,3	2,9	143	0,95
			60	76,1	2,9	114	
			80	88,9	3,2	90	
125	139,7	4,0	65	76,1	2,9	159	1,60
			80	88,9	3,2	135	
			100	114,3	3,6	88	
150	168,3	4,5	80	88,9	3,2	189	2,60
			100	114,3	3,6	141	
			125	139,7	4,0	94	
200	219,1	6,3	100	114,3	3,6	210	4,50
			125	139,7	4,0	170	
			150	168,3	4,5	130	
250	273,0	6,3	125	139,7	4,0	250	7,10
			150	168,3	4,5	220	
			200	219,1	6,3	130	
300	323,9	7,1	150	168,3	4,5	290	11,00
			200	219,1	6,3	215	
			250	273,1	6,3	130	
350	355,6	8,0	150	168,3	4,5	335	23,00
			200	219,1	6,3	255	
			250	273,1	6,3	125	
			300	323,9	7,1	100	
400	406,4	8,8	200	219,1	6,3	330	26,00
			250	273,1	6,3	250	
			300	323,9	7,1	175	
			350	355,6	8	130	

REDUCCIONES FORMA 2

Extremo D			Extremo D1			Longitud L	Peso aprox. kg	
DN	D	T	DN	D <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>			
20	26,9	2,3	15	21,3	2,0	38	0,11	
25	33,7	2,6	15	21,3	2,0	51	0,14	
			20	26,9	2,3			2,3
32	42,4	2,6	15	21,3	2,0	51	0,20	
			20	26,9	2,3			2,3
			25	33,7	2,6			2,6
40	48,3	2,6	20	26,9	2,3	64	0,24	
			25	33,7	2,6			2,6
			32	42,4	2,6			2,6
50	60,3	2,9	25	33,7	2,6	76	0,40	
			32	42,4	2,6			2,6
			40	48,3	2,6			2,6
65	76,1	2,9	32	42,4	2,6	89	0,70	
			40	48,3	2,9			2,9
			50	60,3	2,9			2,9
80	88,9	3,2	40	48,3	2,6	89	0,90	
			50	60,3	2,9			2,9
			65	76,1	2,9			2,9
100	114,3	3,6	50	60,3	2,9	102	1,60	
			65	76,1	2,9			2,9
			80	88,9	3,2			3,2
125	139,7	4,0	65	76,1	2,9	127	2,50	
			80	88,9	3,2			3,2
			100	114,3	3,6			3,6
150	168,3	4,5	80	88,9	3,2	140	3,80	
			100	114,3	3,6			3,6
			125	139,7	4,0			4,0
200	219,1	6,3	100	114,3	3,6	152	6,50	
			125	139,7	4,0			4,0
			150	168,3	4,5			4,5
250	273,0	6,3	125	139,7	4,0	178	10,00	
			150	168,3	4,5			4,5
			200	219,1	6,3			6,3
300	323,9	7,1	150	168,3	4,5	203	14,00	
			200	219,1	6,3			6,3
			250	273	6,3			6,3
			300	323,9	7,18			7,18
350	355,6	8,0	200	219,1	6,3	330	26,30	
			250	273	6,3			6,3
			300	323,9	7,18			7,18
			350	355,6	8,0			8,0
400	406,4	8,8	250	273	6,3	356	29,40	
			300	323,9	7,1			7,1
			350	355,6	8,0			8,0
			350	355,6	8,0			8,0

Todas las dimensiones son en milímetros.

## A5.6 EQUIPOS DE IMPULSIÓN

Se muestran a continuación los equipos de impulsión seleccionados para las conducciones detalladas en los apartados anteriores. En total se han seleccionado dos equipos de impulsión, una bomba centrífuga para la impulsión de líquidos y un compresor centrífugo para la impulsión de gases.

En primer lugar, se presenta la bomba centrífuga seleccionada, en la tabla A5.6.

**Tabla A5.6. Ficha técnica de la bomba centrífuga.**

<b>BOMBA CENTRÍFUGA</b>	
<b>Proveedor</b>	Grundfos
<b>Modelo</b>	CR 1s-3
<b>Función que desempeña</b>	Aumentar la energía cinética en la corriente de líquido que circula por el tramo 4 de la instalación con el fin de que tenga un flujo adecuado en esta.
<b>Material</b>	Acero inoxidable (eje, impulsor, cámara y camisa) y fundición EN GJL200 (cabezal y base)
<b>Peso (kg)</b>	23
<b>Dimensiones (m)</b>	0,47 x 0,25 x 0,22
<b>Potencia (W)</b>	370
<b>Imagen</b>	
<b>Precio (€)</b>	5500

## El catálogo de GRUNDFOS

# CR, CRI, CRN, CRE, CRIE, CRNE

Bombas centrífugas multicelulares verticales  
50 Hz



BE > THINK > INNOVATE >

GRUNDFOS 

## Datos de producto

CR, CRI, CRN,  
CRE, CRIE, CRNE

### Introducción

Este catálogo describe las bombas CR, CRI y CRN, así como las bombas CRE, CRIE y CRNE.



Fig. 1 Bombas CR, CRI y CRN

#### CR, CRI, CRN

Las bombas CR, CRI y CRN son verticales, multicelulares y centrífugas. El diseño en línea permite instalar la bomba en un sistema monotubo horizontal donde las conexiones de aspiración y descarga están en el mismo plano horizontal y tienen las mismas dimensiones de tubería. Este diseño proporciona un diseño de bomba y de tubería más compacto.

Las bombas CR de Grundfos están disponibles en diferentes tamaños y números de etapas para proporcionar el caudal y la presión que se requieren.

Las bombas CR han sido diseñadas para diversas aplicaciones, desde el bombeo de agua potable hasta el bombeo de químicos. Por tanto, resultan adecuadas para una amplia variedad de sistemas de bombeo en los que el funcionamiento y el material de la bomba deben cubrir requisitos específicos.

Las bombas CR constan de dos componentes principales: El motor y el cuerpo de bomba. El motor de la bomba CR es un motor Grundfos diseñado según las normas EN.

La bomba consta de componentes hidráulicos optimizados, varios tipos de conexiones, una camisa, un cabezal de bomba y otras piezas diversas.

Las bombas CR están disponibles en varias versiones de material según el líquido bombeado.

GRS381

### CRE, CRIE, CRNE



Fig. 2 Bombas CRE, CRIE y CRNE

La construcción de las bombas CRE, CRIE y CRNE está basada en las bombas CR, CRI y CRN.

Las bombas CRE, CRIE y CRNE pertenecen a la familia de bombas E. Reciben la denominación genérica de bombas E.

La diferencia entre la gama de bombas CR y CRE es el motor. Las bombas CRE, CRIE y CRNE montan un motor E, es decir, el motor incorpora un variador de frecuencia.

El motor de la bomba CRE es un motor MGE o MMGE de Grundfos, diseñado según las normas EN.

El variador de frecuencia permite un control continuo de la velocidad del motor, por lo que la bomba puede ajustarse para funcionar en cualquier punto de trabajo. La finalidad del control continuamente variable de la velocidad del motor es ajustar el funcionamiento a un requerimiento específico.

Las bombas CRE, CRIE y CRNE están disponibles con un sensor de presión integrado, conectado al control de frecuencia.

Los materiales de la bomba son idénticos a los de la gama CR, CRI y CRN.

#### Selección de una bomba CRE

Debe seleccionarse una bomba CRE si se requieren las siguientes características:

- Control del funcionamiento, es decir, el consumo varía
- Presión constante
- Comunicación con la bomba.

La adaptación del funcionamiento mediante el control de la velocidad con control de frecuencia ofrece las siguientes ventajas:

- ahorro de energía
- mayor confort
- control y regulación del funcionamiento de la bomba.

## Datos de producto

CR, CRI, CRN,  
CRE, CRIE, CRNE

### Aplicaciones

Aplicaciones	CR, CRI	CRN	CRE, CRNE
<b>Suministro de agua</b>			
Filtrado y trasiego en instalaciones de suministro de agua	●	○	●
Distribución de instalaciones de suministro de agua	●	○	●
Aumento de presión en tuberías	●	○	●
Aumento de presión en edificios altos, hoteles, etc.	●	○	●
Aumento de presión en sistemas industriales	●	○	●
<b>Industria</b>			
<b>Aumento de presión</b>			
Sistemas de procesado de agua	●	●	●
Sistemas de lavado y limpieza	●	●	○
Túneles de lavado de vehículos	●	○	●
Sistemas contra incendios	●		○
<b>Trasiego de líquidos</b>			
Sistemas de refrigeración y aire acondicionado (refrigerantes)	●	○	●
Alimentación de calderas y sistemas de condensación	●	○	●
Máquinas herramientas (lubricantes de refrigeración)	●	●	●
Piscifactorías *	●	○	
<b>Trabajos especiales de trasiego</b>			
Aceites y alcoholes	●	●	
Ácidos y bases *		●	
Glicol y refrigerantes	●		
<b>Tratamiento de agua</b>			
Sistemas de ultrafiltración		●	
Sistemas de ósmosis inversa*		●	
Sistemas de ablandamiento, ionización y desmineralización		●	
Sistemas de destilación		●	
Colectores	●	●	●
Instalaciones de natación *		●	
<b>Riego</b>			
Riego de campos (acequias)	●	○	
Riego por aspersión	●	○	●
Riego por goteo	●	○	

● Versión recomendada.

○ Versión alternativa.

\* Versiones CRT y CRTE disponibles.

Para obtener más información sobre las bombas CRT, CRTE, consulte "Líquidos bombeados" en la página 80 o los catálogos CRT, CRTE relacionados.

## Datos de producto

CR, CRI, CRN,  
CRE, CRIE, CRNE

### Gama de producto

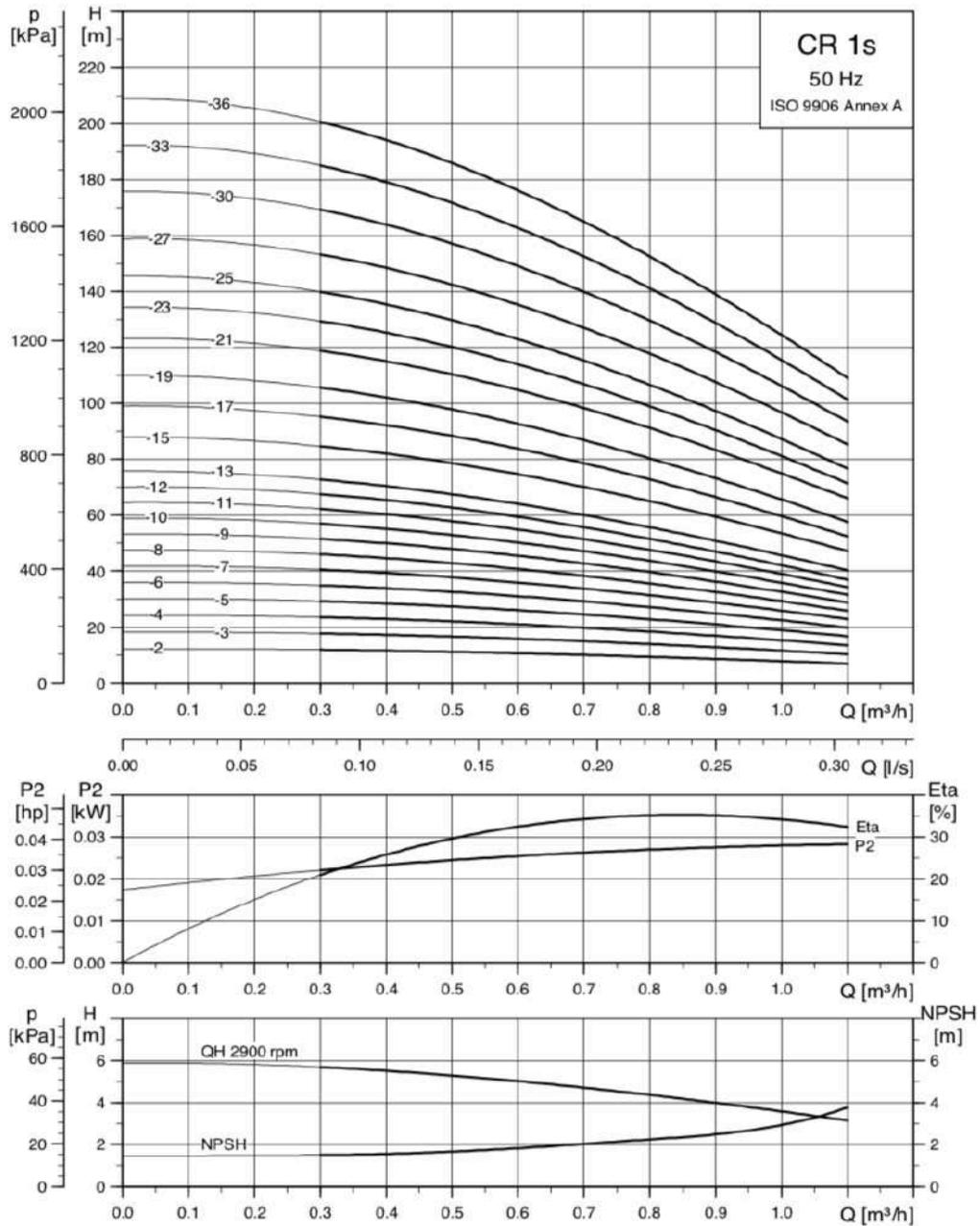
Gama	CR 1s	CR, CRE 1	CR, CRE 3	CR, CRE 5	CR, CRE 10	CR, CRE 15	CR, CRE 20
Caudal nominal [m <sup>3</sup> /h]	0,8	1	3	5	10	15	20
Rango de temperatura [°C]	-20 a +120						
Gama de temperaturas [°C] (bajo pedido)	-40 a +180						
Rendimiento máx. bomba [%]	35	48	58	66	70	72	72
<b>Bombas CR</b>							
Rango de caudal [m <sup>3</sup> /h]	0,3 - 1,1	0,7 - 2,4	1,2 - 4,5	2,5 - 8,5	5 - 13	9 - 24	11 - 29
Presión máx. [bar]	21	22	24	24	22	23	25
Alta presión [bar] (bajo pedido)	-	47	41	47	44	47	48
Potencia del motor [kW]	0,37 - 1,1	0,37 - 2,2	0,37 - 3	0,37 - 5,5	0,37 - 7,5	1,1 - 15	1,1 - 18,5
<b>Bombas CRE</b>							
Rango de caudal [m <sup>3</sup> /h]	-	0,7 - 2,4	1,2 - 4,5	2,5 - 8,5	5 - 13	8,5 - 23,5	10,5 - 29
Presión máx. [bar]	-	22	24	24	22	23	25
Potencia del motor [kW]	-	0,37 - 2,2	0,37 - 3	0,37 - 5,5	0,37 - 7,5	1,1 - 15	1,1 - 18,5
<b>Versión</b>							
CR, CRE: Fundición y acero inoxidable EN 1.4301/AISI 304	●	●	●	●	●	●	●
CRI, CRIE: Acero inoxidable EN 1.4301/AISI 304	●	●	●	●	●	●	●
CRN, CRNE: Acero inoxidable EN 1.4401/AISI 316	●	●	●	●	●	●	●
CRT, CRTE: Titanio	Véase el catálogo de CRT, CRTE.						
<b>Conexión tubería CR, CRE</b>							
Brida ovalada (BSP)	Rp 1	Rp 1	Rp 1	Rp 1½	Rp 1½	Rp 2	Rp 2
Brida ovalada (BSP) bajo pedido	Rp 1½	Rp 1½	Rp 1½	Rp 1	Rp 1½ Rp 2	Rp 2½	Rp 2½
Brida	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 40	DN 50	DN 50
Brida bajo pedido	-	-	-	-	DN 50	-	-
<b>Conexión tubería CRI, CRIE</b>							
Brida ovalada (BSP)	Rp 1	Rp 1	Rp 1½	Rp 1½	Rp 1½	Rp 2	Rp 2
Brida ovalada (BSP) bajo pedido	Rp 1½	Rp 1½	Rp 1	Rp 1	Rp 2	-	-
Brida	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 40	DN 50	DN 50
Brida bajo pedido	-	-	-	-	DN 50	-	-
Acoplamiento PJE (Vitaúlic)	R 1½ DN 32	R 1½ DN 32	R 1½ DN 32	R 1½ DN 32	R 2 DN 50	R 2 DN 50	R 2 DN 50
Acoplamiento Clamp (acoplamiento L)	Ø48,3	Ø48,3	Ø48,3	Ø48,3	Ø60,3	Ø60,3	Ø60,3
Junta (+GF+)	G 2	G2	G 2	G 2	G 2½	G 2½	G 2½
<b>Conexión tubería CRN(E)</b>							
Brida ovalada (BSP)	Rp 1	Rp 1	Rp 1½	Rp 1½	Rp 1½	Rp 2	Rp 2
Brida ovalada (BSP) bajo pedido	Rp 1½	Rp 1½	Rp 1	Rp 1	Rp 2	-	-
Brida	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 25/ DN 32	DN 40	DN 50	DN 50
Brida bajo pedido	-	-	-	-	DN 50	-	-
Acoplamiento PJE (Vitaúlic)	R 1½ DN 32	R 1½ DN 32	R 1½ DN 32	R 1½ DN 32	R 2 DN 50	R 2 DN 50	R 2 DN 50
Acoplamiento Clamp (acoplamiento L)	Ø48,3	Ø48,3	Ø48,3	Ø48,3	Ø60,3	Ø60,3	Ø60,3
Junta (+GF+)	G 2	G2	G 2	G 2	G 2½	G 2½	G 2½

● Estándar  
○ Disponible

## Curvas características/ Datos técnicos

CR 1 s

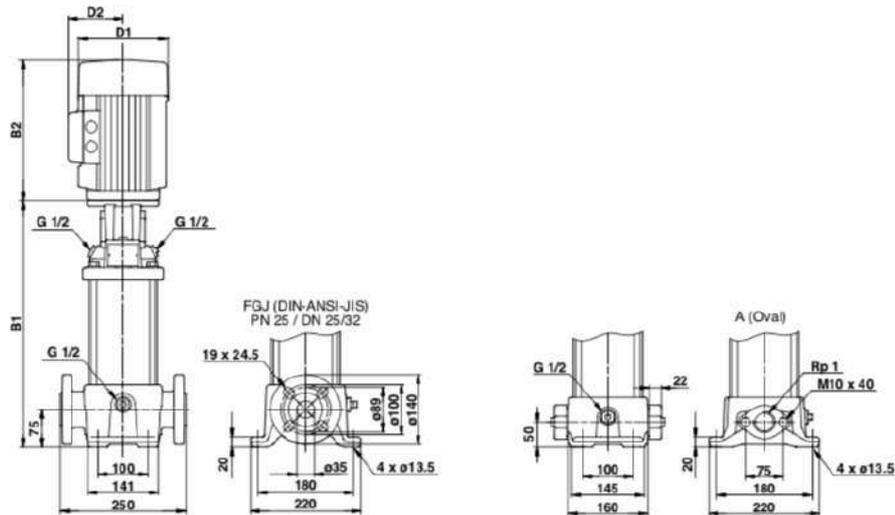
### CR 1s



## Datos técnicos

CR 1 s

### Plano dimensional



TM03 1721 2805

### Dimensiones y pesos

Tipo de bomba	Motor P <sub>2</sub> [kW]	Dimensiones [mm]						Peso neto [kg]	
		Brida ovalada		Brida DIN		D1	D2	Brida ovalada	Brida DIN
		B1	B1+B2	B1	B1+B2				
CR 1s-2	0,37	254	445	279	470	141	109	18	23
CR 1s-3	0,37	254	445	279	470	141	109	18	23
CR 1s-4	0,37	272	463	297	488	141	109	19	23
CR 1s-5	0,37	290	481	315	506	141	109	19	24
CR 1s-6	0,37	308	499	333	524	141	109	19	24
CR 1s-7	0,37	326	517	351	542	141	109	20	24
CR 1s-8	0,37	344	535	369	560	141	109	20	25
CR 1s-9	0,37	362	553	387	578	141	109	21	25
CR 1s-10	0,37	380	571	405	596	141	109	21	26
CR 1s-11	0,37	398	589	423	614	141	109	21	26
CR 1s-12	0,37	416	607	441	632	141	109	22	26
CR 1s-13	0,37	434	625	459	650	141	109	22	27
CR 1s-15	0,55	470	661	495	686	141	109	24	28
CR 1s-17	0,55	506	697	531	722	141	109	25	29
CR 1s-19	0,55	542	733	567	758	141	109	25	30
CR 1s-21	0,75	584	815	609	840	141	109	28	32
CR 1s-23	0,75	620	851	645	876	141	109	29	33
CR 1s-25	0,75	656	887	681	912	141	109	29	34
CR 1s-27	1,1	692	923	717	948	141	109	32	37
CR 1s-30	1,1	-	-	771	1002	141	109	-	38
CR 1s-33	1,1	-	-	825	1056	141	109	-	39
CR 1s-36	1,1	-	-	879	1110	141	109	-	41

En cuanto al impulsor centrífugo, se muestra a continuación su ficha técnica resumida, así como su correspondiente catálogo.

**Tabla A5.7. Ficha técnica del compresor centrífugo.**

<b>COMPRESOR CENTRÍFUGO</b>	
<b>Proveedor</b>	KNF
<b>Modelo</b>	N 936.3 ANE
<b>Función que desempeña</b>	Impulsión del biogás ya desulfurado desde su salida de la columna de absorción CA-1 hasta el punto de entrada al sistema de valorización (tramo 3 de conducción).
<b>Material</b>	Aluminio (cabezal) y acero inoxidable (diafragma).
<b>Peso (kg)</b>	5,2
<b>Dimensiones (m)</b>	0,23 x 0,14 x 0,129
<b>Potencia (W)</b>	190
<b>Imagen</b>	
<b>Precio (€)</b>	3000

Y se muestra a continuación la ficha técnica del fabricante.



## DIAPHRAGM VACUUM PUMPS

DATA SHEET E 044



N 936.3 ANE

### Concept

Diaphragm vacuum pumps from KNF are based on a simple principle - an elastic diaphragm, fixed on its edge, moves up and down its central point by means of an eccentric. In this way the medium is transferred using automatic valves.

### Features

#### Uncontaminated flow

No contamination of the media due to oil-free operation

#### Specially developed for sterilisation and drying processes

Optimal flow characteristics for fast drying

Condensate-repellent surfaces in the flow area

Compact and powerful

Vacuum down to 35 mbar abs.

Maintenance free

Can operate in any installed position

### Areas of use

These pumps are specially designed to satisfy the requirements of steam sterilisation and vacuum drying, leading to very reliable operation.

The pump heads are made of aluminum and in the supply area have a condensate-repellent surface with optimized flow paths. This technology facilitates good condensate removal and fast drying.

PERFORMANCE DATA				
Type	Delivery (l/min)	Vacuum (mbar absolute)	atm. pressure (bar g)	Weight (kg)
N 936.3 ANE, 50 Hz	36	35	0.5	5.2
N 936.3 ANE, 60 Hz	39	35	0.5	5.2
N 936.1.2 ANE, 50 Hz	60	200	0.5	5.2
N 936.1.2 ANE, 60 Hz	66	200	0.5	5.2

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## N 936.3 ANE

### PERFORMANCE DATA

Type	Delivery at atm. pressure (l/min) <sup>1)</sup>	Max. operating pressure (bar g)	Ultimate vacuum (mbar abs.)
N 936.3 ANE, 50 Hz	36 ± 10%	0.5	35
N 936.3 ANE, 60 Hz	39 ± 10%	0.5	35

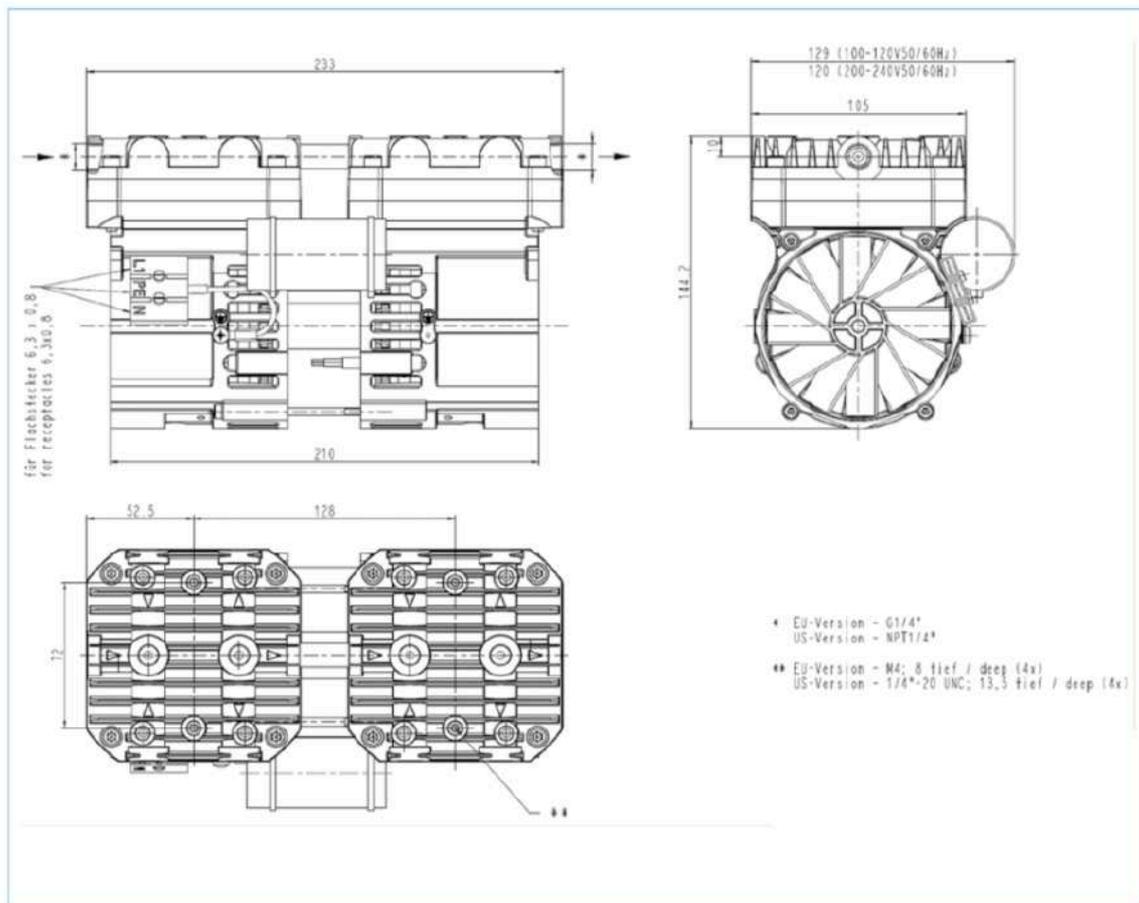
<sup>1)</sup> Liter at STP

### MOTOR DATA

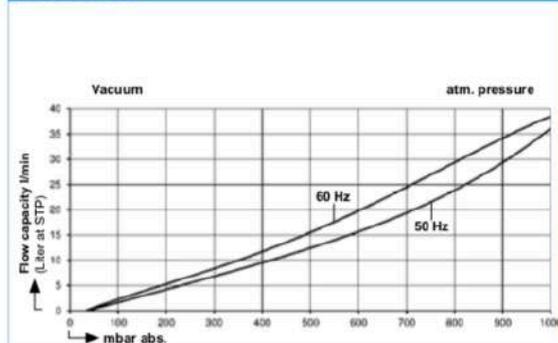
Protection class	IP 00	IP 00
Voltage (V)	200-240	100-120
Frequencies (Hz)	50/60	50/60
Power P <sub>1</sub> (W)	190	190
I <sub>max</sub> (A), 50/60 Hz	1.3/1.0	2.3/1.8

### PUMP MATERIAL

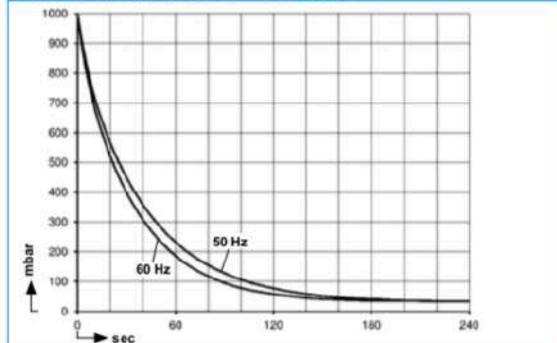
Type	Pump head	Diaphragm	Valves
N 936.3 ANE	Aluminum	HNBR/stainless steel	HNBR



### FLOW CAPACITY



### PUMP DOWN TIME FOR 20 LITER VESSEL





## HINTS ON FUNCTION, INSTALLATION AND TECHNIQUE

### Function of KNF diaphragm vacuum pumps and compressors

An elastic diaphragm is moved up and down by an eccentric (see illustration). On the down-stroke it draws the air or gas being handled through the inlet valve. On the up-stroke the diaphragm forces the medium through the exhaust valve and out of the head. The compression chamber is hermetically separated from the drive mechanism by the diaphragm. The pumps transfer, evacuate and compress completely oil-free.



### Hints on installation and operation

- Range of use: Transferring air, gases and vapors at temperatures between +5 °C and +70 °C, intermittent 100 °C.
- Permissible ambient temperature: +15 °C and +50 °C, intermittent 70 °C.
- Please check the compatibility of the materials of the pump head, diaphragm and valves with the medium.
- The KNF product line contains pumps suitable for pumping aggressive gases and vapors – please contact us.
- The standard pumps are not suitable for use in areas where there is a risk of explosion. In these cases there are other products in the KNF program – please ask us for details.
- The pumps are not designed to start against pressure or vacuum; when a pump is switched on the pressure in the suction and pressure lines must be atmospheric. Pumps that start against pressure or vacuum are available on request.
- To prevent the maximum operating pressure being exceeded, restriction or regulation of the air flow should only be carried out in the suction line.
- Components connected to the pump must be designed to withstand the pneumatic performance of the pump.
- Install the pump so that the fan can draw in sufficient cooling air.

## A5.7 EQUIPO DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

Se presentará a continuación el catálogo de características técnicas del motor de combustión interna que actualmente se usa para la valorización energética en la EDAR de Castellón de la Plana. El aporte de este documento es importante para el entendimiento y posible comparación de este sistema con el nuevo que se plantea.



**Especificación técnica**  
**Módulo de Cogeneración**  
**JMS 312 GS-B.L**

---

**FACSA**

---

**Potencia eléctrica** **500 kW el.**

**Emisiones**

NOx < 500 mg/Nm<sup>3</sup> (5% O<sub>2</sub>)

# Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.



## 0.01 Datos Técnicos (del módulo)

Datos referidos a:

**Plena carga**    **Carga parcial**

Poder calorífico inferior del gas (PCI)		kWh/Nm <sup>3</sup>	6		
			100%	75%	50%
Energía invertida		kW	[2] 1.246	1.008	714
Caudal de gas		Nm <sup>3</sup> /h	*) 208	168	119
Potencia mecánica		kW	[1] 518	408	272
Potencia eléctrica		kW el.	[4] 500	395	261
Potencia térmica aprovechable					
~ 1º etapa del intercooler		kW	[5] 52	23	~
~ Aceite		kW	[5] 57	49	40
~ Agua de camisas		kW	[5] 186	177	142
Potencia total térmica aprovechable		kW	[5] 295	249	182
Calor a disipar					
~ 2º etapa del intercooler		kW	29	15	4
~ Aceite		kW	~	~	~
~ Calor superficial	ca.	kW	[7] 48	47	50
~ Calor restante		kW	14	10	7
Consumo específico de combustible		kWh/kWh	[2] 2,41	2,47	2,63
Consumo de aceite lubricante	ca.	kg/h	[3] 0,16	~	~
Rendimiento eléctrico		%	40,3%	39,1%	36,5%
Circuito de agua caliente:					
Temperatura de salida		°C	80,0	-	-
Temperatura de retorno		°C	70,0	70,0	70,0
Caudal de agua caliente		m <sup>3</sup> /h	25,3	25,3	25,3

\*) Valor indicativo para el dimensionamiento de las tuberías

[ ] Véase 0.10 para explicaciones - Condiciones técnicas de funcionamiento

Todos los valores del balance térmico están basados en condiciones estándares según anexo 0.10. Cualquier desviación respecto a las condiciones estándares puede originar cambios en los valores especificados. Esto se ha de considerar para el dimensionamiento de los equipos de refrigeración (Intercooler, refrigeración de emergencia, ...). Se recomienda calcular con una reserva adicional del 10% sobre la tolerancia general de +/-8% de la potencia térmica para dimensionar el sistema de refrigeración adecuadamente.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.



**Dimensiones globales y pesos (del módulo)**

Longitud	mm	~ 4.700
Anchura	mm	~ 2.300
Altura	mm	~ 2.300
Peso en seco	kg	~ 9.100
Peso listo para funcionar	kg	~ 9.600

**Conexiones**

Entrada y salida de agua caliente	DN/PN	80/10
Salida de gases de escape	DN/PN	250/10
Gas combustible (en la rampa de gas)	DN/PN	80/16
Gas combustible (del módulo)	DN/PN	80/10
Purga de agua caliente ISO 228	G	½"
Purga de condensados	DN/PN	50/10
Válvula de seguridad - agua de refrig. de camisas ISO 228	DN/PN	1½"/2,5
Válvula de seguridad - agua caliente	DN/PN	50/16
Rellenado de aceite (tubo)	mm	28
Purga de aceite (tubo)	mm	28
Boquilla de relleno para agua de camisas (manguera)	mm	13
Entrada/salida de agua de la 1ª etapa del intercooler	DN/PN	80/10
Entrada/salida de agua de la 2ª etapa del intercooler	DN/PN	65/10

**Potencia / Consumo**

Potencia continua ISO estándar ICFN	kW	518
Pres. med. efectiva a potencia y veloc. nominal	bar	14,19
Tipo de gas (combustible)		Gas de depuradora
Número de metano de referencial/Número de metano mínimo	MZ d)	135/100
Relación de compresión	Epsilon	16,00
Presión mín./máx. del gas en la entrada de la rampa de gas	mbar	80 - 200 c)
Oscilaciones permitidas en la presión del gas combustible	%	± 10
Velocidad máx. admisible para variaciones de la presión de gas	mbar/sec	10
Temp. max. admisible del agua en la 2ª etapa del intercooler	°C	50
Consumo específico de combustible	kWh/kWh	2,41
Consumo específico de aceite	g/kWh	0,30
Temperatura máx. del aceite	°C	90
Temperatura máx. del agua de camisas	°C	95
Capacidad de aceite lubricante (cambio)	lit	~ 216

c) Menor presión de gas posible si se requiere

d) basado en programa de calculo del numero de metano AVL 3.1



## 0.02 Datos Técnicos del motor

Fabricante		GE Jenbacher
Tipo del motor		J 312 GS-C225
Funcionamiento		Cuatro tiempos
Configuración		V 70°
Número de cilindros		12
Taladro	mm	135
Carrera	mm	170
Cilindrada	lit	29,20
Velocidad nominal	rpm	1.500
Velocidad media del pistón	m/s	8,50
Longitud	mm	2.400
Anchura	mm	1.457
Altura	mm	2.065
Peso en seco (motor)	kg	3.500
Peso total listo para funcionar	kg	3.830
Momento de inercia del motor	kgm <sup>2</sup>	7,77
Sentido de rotación (mirando el volante)		izquierda
Brida del volante de inercia		SAE 18"
Radiointerferencia según VDE 0875		N
Potencia del arrancador	kW	7
Voltaje del arrancador	V	24

### Potencia térmica

Energía invertida	kW	1.246
Mezcla	kW	81
Aceite	kW	57
Agua de camisas	kW	186
Gas escape total	kW	358
Gases de escape enfriados hasta 180 °C	kW	233
Gases de escape enfriados hasta 100 °C	kW	298
Calor superficial	kW	32
Calor restante	kW	14

### Datos de los gases de escape

Temperatura de los gases de escape a plena carga	°C [8]	452
Caudal másico húmedo de los gases de escape	kg/h	2.724
Caudal másico seco de los gases de escape	kg/h	2.523
Caudal volumétrico húmedo de gases de escape	Nm <sup>3</sup> /h	2.088
Caudal volumétrico seco de gases de escape	Nm <sup>3</sup> /h	1.846
Perdida de presión máx. de gases de escape a la salida del motor	mbar	60

### Datos del aire de combustión

Caudal másico de aire	kg/h	2.387
Caudal volumétrico de aire	Nm <sup>3</sup> /h	1.847
Depresión máx. admisible de aspiración	mbar	10

## A5.8 EQUIPO DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA CON PILA DE COMBUSTIBLE

Como se ha comentado en la memoria, se va a estudiar la posibilidad de valorizar el biogás con una pila de combustible, y aunque en un principio este equipo no forma parte en sí del proceso diseñado (proceso de desulfuración), sí que es la causa del diseño de este nuevo proceso. Por ello, aunque en el presupuesto principal del proyecto no se valore este equipo por no formar parte en sí del proceso diseñado, es importante aportar su ficha técnica y precio, para poder hacer una pequeña valoración anexa a todo el proyecto en sí.

EN la tabla A5.8 se muestra la ficha técnica de la pila de combustible seleccionada.

**Tabla A5.8. Ficha técnica de la pila de combustible.**

<b>PILA DE COMBUSTIBLE</b>	
<b>Proveedor</b>	<b>Fuel Cell Energy</b>
<b>Modelo</b>	<b>Sure Source 1500</b>
<b>Tipo de PC</b>	<b>MCFC</b>
<b>Potencia (kW)</b>	<b>1400</b>
<b>Dimensiones (m)</b>	<b>6,05 x 6,10 x 4,09</b>
<b>Imagen</b>	
<b>Precio (€)</b>	<b>700.000</b>

Y a continuación se adjunta el catálogo del equipo.

# SureSource 1500™

## 1.4 MEGAWATTS

### KEY FEATURES

- Continuous Power
- Highly Efficient
- Fuel Flexible
- Ultra-Clean
- Scalable
- Modest Footprint
- Quiet Operation

### APPLICATIONS

Featuring ultra-low emissions, quiet operation and minimal space requirements (about the size of a tennis court), the SureSource 1500 is suitable for locations where combustion-based traditional power generation technologies are not feasible or desirable such as next to buildings or in space-constrained urban locations. This solution is ideal for on-site power generation for large installations requiring continuous power and value high-quality steam for facility heating and/or absorption chilling; including industrial facilities, hospitals, universities and wastewater treatment plants.



### PERFORMANCE

Gross Power Output		Water Consumption	
Power @ Plant Rating	1,400 kW	Average	1.02 m³/h
Standard Output AC voltage	20 kV	Peak during WTS backflush	3.41 m³/h
Standard Frequency	50 Hz		
Optional Output AC Voltages	By Request	Water Discharge	
Optional Output Frequency	60 Hz	Average	0.51 m³/h
		Peak during WTS backflush	3.41 m³/h
Efficiency		Pollutant Emissions	
LHV	47 +/- 2 %	NOx	4.54 x 10 <sup>-3</sup> g/kWh
		SOx	4.54 x 10 <sup>-5</sup> g/kWh
		PM10	9.0 x 10 <sup>-6</sup> g/kWh
Available Heat		Greenhouse Gas Emissions	
Exhaust Temperature	370 +/- 28 °C	CO <sub>2</sub>	445 g/kWh
Exhaust Flow	8,300 kg/h	CO <sub>2</sub> (with waste heat recovery)	236 - 309 g/kWh
Allowable Backpressure	12.5 mbar		
Heat Energy Available for Recovery		Sound Level	
(to 120 °C)	649 kW	Standard	72 dB(A) at 3.0 m
(to 50 °C)	1,092 kW		
Fuel Consumption			
Natural gas (at 9.63 kWh/m³)	309 Nm³/h		

# SPECIFICATIONS

## SureSource 1500

### WEIGHTS

#### Water Treatment Skid

9.1 t

#### Main Process Skid

22.7 t

#### Desulfurization

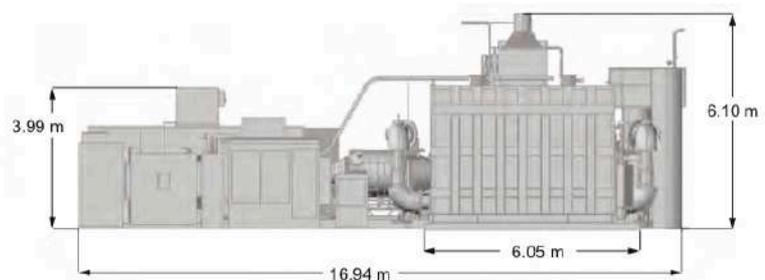
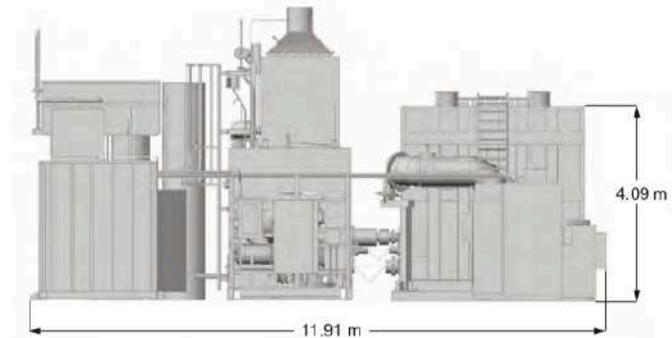
6.8 t

#### Electrical Balance of Plant

12.1 t

#### Fuel Cell Module

48.6 t



### ABOUT FUELCELL ENERGY

FuelCell Energy (NASDAQ: FCEL) delivers efficient, affordable and clean solutions for the supply, recovery and storage of energy. We design, manufacture, undertake project development, install, operate and maintain megawatt-scale fuel cell systems, serving utilities, industrial and large municipal power users with solutions that include both utility-scale and on-site power generation, carbon capture, local hydrogen production for transportation and industry, and long duration energy storage. With SureSource installations on three continents and millions of megawatt hours of ultra-clean power produced, FuelCell Energy is a global leader with environmentally responsible power solutions.

## A5.9 CONSUMOS DE LA INSTALACIÓN

Una vez expuestos todos los equipos de la instalación y todo el proceso en si, es importante sintetizar los consumos que tendrá la instalación, y que comprenderá los gastos de electricidad, de vapor de agua para calefacción, de agua para refrigeración y de materiales (DEA en este caso).

- Los equipos que conllevarán un gasto eléctrico serán la bomba centrífuga y el compresor centrífugo.
- Los equipos que conllevarán un gasto de vapor de calefacción será el calderín de la columna CRG-1.
- Los equipos que conllevarán un gasto másico de agua serán el intercambiador de calor ICC y el condensador parcial de la columna CA-1-
- Y por último, los materiales que conllevarán un gasto serán la DEA y el agua para diluir la DEA. Esta solución circulará en circuito cerrado, y se considerará a priori que su duración mínima hasta ser necesaria un purgado del circuito será de un año.

Para el cálculo se considerará que los equipos funcionarán las 24 horas del día, dado que actualmente el sistema de valorización de biogás funciona entre 20 y 24 horas, por ello, se considerará el máximo consumo posible en un día, y se obtendrá así el gasto anual.

**Tabla A5.9. Consumo eléctrico de la instalaciónn**

Equipo	Potencia (kW)	Energía diaria consumida (kWh)	Energía anual consumida (kWh)
Bomba centrífuga	0,37	8,88	3241,2
Compresor centrífugo	0,19	4,56	1664,4
TOTAL			4905,6

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

El consumo másico de vapor del calderín de la columna CRG-1 se muestra en la tabla A5.10.

**Tabla A5.10. Consumo de vapor de agua de la instalación.**

Equipo	Consumo diario (m <sup>3</sup> /día)	Consumo anual (m <sup>3</sup> /año)
Calderín columna CRG-1	65,00	23.725,00

El gasto de agua se muestra en la tabla A5.11.

**Tabla A5.11. Consumo de agua de la instalación.**

Equipo	Gasto másico diario (kg/día)	Gasto másico anual (kg/año)
Interambiador ICC	6.960,00	2.540.400,00
Condensador columna CRG-1	48.000,00	17.520.000,00
TOTAL		20.060.400,00

Y por último, se muestra en la tabla A5.12 los consumos de materiales para el circuito de solución de amina, que tendrá una duración considerada de 1 año (en caso de observarse degradación de la solución o pérdidas grandes de agua, se ira reponiendo a medida que se observen).

**Tabla A5.12. Consumos de materiales de la instalación.**

Material	Gasto anual (l/año)
DEA	100
Agua	400

## A5.10 OTROS DOCUMENTOS DE INTERÉS.

Y por último, se aportarán en este apartado todos los documentos que puedan ser de interés para el entendimiento del proyecto, o como documentación complementaria para la ejecución de este.

Entre esos documentos se encuentran:

- Fichas técnicas de seguridad de la DEA. Al tratarse de un componente con un elevado número de riesgos en su manipulación se considera importante que se aporte información complementaria sobre su manipulación. También se aportará la citada documentación del H<sub>2</sub>S, dada la gran peligrosidad de este compuesto.
- Tablas de datos experimentales usados durante la fase del diseño. Por requerimientos de algunas ecuaciones, se requería en ocasiones de datos imposible de obtener experimentalmente en el sistema en estudio, o simplemente datos con un margen de error tan pequeño al tomarlos de bancos de datos, que se recomienda su uso a obtenerlos analíticamente por la gran inversión de tiempo que esto requiere.
- Gráficas bibliográficas usadas durante la fase del diseño, necesarias para determinar ciertos aspectos en la fase de diseño.
- Partes proporcionados por FACSA en lo relativo a la producción anual de biogás del año 2017, en la EDAR de Castellón de la Plana.

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



### Dietanolamina $\geq 99\%$ , para síntesis

número de artículo: **HN99**

Versión: **2.0 es**

Reemplaza la versión de: 30.11.2015

Versión: (1.0)

fecha de emisión: 30.11.2015

Revisión: 08.02.2017

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

### 1.1 Identificador del producto

Identificación de la sustancia	<b>Dietanolamina</b>
Número de artículo	HN99
Número de registro (REACH)	01-2119488930-28-xxxx
No de índice	603-071-00-1
Número CE	203-868-0
Número CAS	111-42-2

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

**Usos identificados:** producto químico de laboratorio

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

Carl Roth GmbH + Co KG  
Schoemperlenstr. 3-5  
D-76185 Karlsruhe  
Alemania

**Teléfono:** +49 (0) 721 - 56 06 0

**Fax:** +49 (0) 721 - 56 06 149

**e-mail:** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

**Sitio web:** [www.carlroth.de](http://www.carlroth.de)

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad : Department Health, Safety and Environment

**e-mail (persona competente)** : [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

### 1.4 Teléfono de emergencia

Servicios de información para casos de emergencia **Poison Centre Munich: +49/(0)89 19240**

## SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

### 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Clasificación según SGA			
Sección	Clase de peligro	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
3.10	toxicidad aguda (oral)	(Acute Tox. 4)	H302
3.2	corrosión o irritación cutáneas	(Skin Irrit. 2)	H315
3.3	lesiones oculares graves o irritación ocular	(Eye Dam. 1)	H318
3.9	toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas)	(STOT RE 2)	H373

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



**Dietanolamina ≥99 %, para síntesis**

número de artículo: **HN99**

### Observaciones

Véase el texto completo de las frases H y EUH en la SECCIÓN 16.

## 2.2 Elementos de la etiqueta

**Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)**

### Palabra de advertencia

**Peligro**

### Pictogramas



### Indicaciones de peligro

H302	Nocivo en caso de ingestión.
H315	Provoca irritación cutánea.
H318	Provoca lesiones oculares graves.
H373	Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de ingestión).

### Consejos de prudencia

#### Consejos de prudencia - prevención

P280 Llevar guantes/gafas de protección.

#### Consejos de prudencia - respuesta

P302+P352 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: lavar con abundante agua.  
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/médico.

**Etiquetado de los envases cuyo contenido no excede de 125 ml**

Palabra de advertencia: **Peligro**

Símbolo(s)



H318	Provoca lesiones oculares graves.
P280	Llevar guantes/gafas 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/médico.

## 2.3 Otros peligros

No hay información adicional.

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



**Dietanolamina ≥99 %, para síntesis**

número de artículo: **HN99**

### SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

#### 3.1 Sustancias

Nombre de la sustancia	Dietanolamina
No de índice	603-071-00-1
Número de registro (REACH)	01-2119488930-28-xxxx
Número CE	203-868-0
Número CAS	111-42-2
Fórmula molecular	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>
Masa molar	105,1 g/mol

### SECCIÓN 4: Primeros auxilios

#### 4.1 Descripción de los primeros auxilios



##### Notas generales

Quitar las prendas contaminadas.

##### En caso de inhalación

Proporcionar aire fresco. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

##### En caso de contacto con la piel

Aclararse la piel con agua/ ducharse. En caso de irritaciones cutáneas, consultar a un dermatólogo.

##### En caso de contacto con los ojos

En caso de contacto con los ojos aclarar inmediatamente los ojos abiertos bajo agua corriente durante 10 o 15 minutos y consultar al oftalmólogo.

##### En caso de ingestión

Lavar la boca inmediatamente y beber agua en abundancia. Llamar a un médico.

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

Irritación, Tos, Dificultades respiratorias, Vómitos, Riesgo de lesiones oculares graves, Peligro de ceguera

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

ninguno

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Dietanolamina  $\geq 99\%$ , para síntesis

número de artículo: HN99

### SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

#### 5.1 Medios de extinción

##### Medios de extinción apropiados

Coordinar las medidas de extinción con los alrededores  
agua pulverizada, espuma, espuma resistente al alcohol, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

##### Medios de extinción no apropiados

chorro de agua

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

Combustible. Los vapores son más pesados que el aire. Vapores pueden formar con aire una mezcla explosiva.

##### Productos de combustión peligrosos

En caso de incendio pueden formarse: óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

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

Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

### SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

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

##### Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

No respirar el polvo. No respirar los vapores/aerosoles. Evítese el contacto con los ojos y la piel.

#### 6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

Manteniendo el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

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

##### Consejos sobre la manera de contener un vertido

Cierre de desagües.

##### Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido

Recoger mecánicamente. Control del polvo.

##### Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas

Colocar en recipientes apropiadas para su eliminación. Ventilar la zona afectada.

#### 6.4 Referencia a otras secciones

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5. Equipo de protección personal: véase sección 8. Materiales incompatibles: véase sección 10. Consideraciones relativas a la eliminación: véase sección 13.

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



**Dietanolamina ≥99 %, para síntesis**

número de artículo: **HN99**

### SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

#### 7.1 Precauciones para una manipulación segura

Asegurar una ventilación adecuada. Evítese la exposición.

• **Medidas de prevención de incendios, así como las destinadas a impedir la formación de partículas en suspensión y polvo**

Eliminación de depósitos de polvo.

**Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo**

Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos. Lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo.

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

Mantener el recipiente herméticamente cerrado. Almacenar en un lugar seco.

**Sustancias o mezclas incompatibles**

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

**Atención a otras indicaciones**

• **Requisitos de ventilación**

Utilización de ventilación local y general.

• **Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento**

Temperatura de almacenaje recomendada: 15 - 25 °C.

#### 7.3 Usos específicos finales

No existen informaciones.

### SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

#### 8.1 Parámetros de control

**Valores límites nacionales**

**Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)**

País	Nombre del agente	No CAS	Anotación	Identificador	VLA-ED [mg/m³]	VLA-EC [mg/m³]	Fuente
ES	partículas no especificadas de otra forma		i	VLA	10		INSHT
ES	partículas no especificadas de otra forma		r	VLA	3		INSHT
ES	dietanolamina	111-42-2		VLA	2		INSHT

**Anotación**

i Fracción inhalable

r Fracción respirable

VLA-EC Valor límite ambiental-exposición de corta duración (nivel de exposición de corta duración); valor límite a partir del cual no debe producirse ninguna exposición y que hace referencia a un periodo de 15 minutos, salvo que se disponga lo contrario

VLA-ED Valor límite ambiental-exposición diaria (límite de exposición de larga duración); tiempo medido o calculado en relación con un periodo de referencia de una media ponderada en el tiempo de ocho horas

**DNEL/DMEL/PNEC pertinentes y otros niveles umbrales**

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



**Dietanolamina ≥99 %, para síntesis**

número de artículo: **HN99**

### • valores relativos a la salud humana

Parámetro	Niveles umbrales	Objetivo de protección, vía de exposición	Utilizado en	Tiempo de exposición
DNEL	1 mg/m <sup>3</sup>	humana, por inhalación	trabajador (industria)	crónico - efectos locales
DNEL	0,13 mg/kg	humana, cutánea	trabajador (industria)	crónico - efectos sistémicos

### • valores medioambientales

Parámetro	Niveles umbrales	Compartimiento ambiental	Tiempo de exposición
PNEC	0,0156 mg/l	agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	100 mg/l	depuradora de aguas residuales (STP)	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,0718 mg/kg	sedimentos de agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,00718 mg/kg	sedimentos marinos	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,00518 mg/kg	suelo	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,097 mg/l	agua	emisiones intermitentes
PNEC	1,04 mg/kg	agua	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,00156 mg/l	agua marina	corto plazo (ocasión única)

## 8.2 Controles de exposición

### Medidas de protección individual (equipo de protección personal)



#### Protección de los ojos/la cara

Utilizar gafas de protección con con protección a los costados.

#### Protección de la piel

##### • protección de las manos

Úsense guantes adecuados. Adecuado es un guante de protección química probado según la norma EN 374. Para usos especiales se recomienda verificar con el proveedor de los guantes de protección, sobre la resistencia de éstos contra los productos químicos arriba mencionados.

##### • tipo de material

NR: caucho natural, latex

##### • espesor del material

0,6 mm

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



### Dietanolamina ≥99 %, para síntesis

número de artículo: **HN99**

• **tiempo de penetración del material con el que están fabricados los guantes**

>480 minutos (permeación: nivel 6)

**Protección contra salpicaduras - Guantes de protección**

• **Tipo de material**

NBR (Goma de nitrilo).

• **Espesor del material**

>0,11 mm.

• **Tiempo de penetración del material con el que están fabricados los guantes**

>30 minutos (permeación: nivel 2).

• **otras medidas de protección**

Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).

**Protección respiratoria**

Protección respiratoria es necesaria para: Formación de polvo/Formación de aerosol y niebla. Filtro de partículas (EN 143). Tipo: A-P2 (filtros combinados contra partículas, gases y vapores orgánicos, código de color: azul/blanco).

El tiempo límite de uso según GefStoffV en combinación con las reglas sobre el uso de aparatos respiratorios (BGR 190) se deben respetar.

**Controles de exposición medioambiental**

Manteniendo el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

## SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

**Aspecto**

Estado físico	sólido (materia sólida)
Color	incolor
Olor	como a amoníaco
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

**Otros parámetros físicos y químicos**

pH (valor)	~ 11 (50 g/l, 20 °C)
Punto de fusión/punto de congelación	27 - 28 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	269 - 271 °C
Punto de inflamación	176 °C
Tasa de evaporación	no existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	No inflamable
<u>Límites de explosividad</u>	
• límite inferior de explosividad (LIE)	2,1 % vol
• límite superior de explosividad (LSE)	10,6 % vol
Límites de explosividad de nubes de polvo	estas informaciones no están disponibles
Presión de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad	1,09 g/ml
Densidad de vapor	Esta información no está disponible.

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



### Dietanolamina $\geq 99\%$ , para síntesis

número de artículo: **HN99**

Densidad relativa	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
<u>Solubilidad(es)</u>	
Hidrosolubilidad	950 g/l a 20 °C
<u>Coefficiente de reparto</u>	
n-octanol/agua (log KOW)	-1,43 (exp.) (TOXNET)
Temperatura de auto-inflamación	370 - 375 °C
Temperatura de descomposición	>270 °C
Viscosidad	no relevantes (materia sólida)
• viscosidad dinámica	352 mPa s a 30 °C
Propiedades explosivas	No se clasificará como explosiva
Propiedades comburentes	ninguno
<b>9.2 Otros datos</b>	
Clase de temperatura (UE según ATEX)	T2 (Temperatura de superficie máxima admisible en el equipo: 300°C)

## SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

Capacidad de polvo explosivo. En caso de calentamiento: Vapores pueden formar con aire una mezcla explosiva

### 10.2 Estabilidad química

El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacciones fuertes con: Comburentes, Ácidos

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

Conservar alejado del calor. Descomposición comienza a partir de temperaturas de: >270 °C.

### 10.5 Materiales incompatibles

cobre, bronce, latón, cinc

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5.

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Dietanolamina  $\geq 99\%$ , para síntesis

número de artículo: HN99

### SECCIÓN 11: Información toxicológica

#### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

##### Toxicidad aguda

Vía de exposición	Parámetro	Valor	Especie	Fuente
oral	LD50	1.100 mg/kg	rata	ECHA

##### Corrosión o irritación cutánea

Provoca irritación cutánea.

##### Lesiones oculares graves o irritación ocular

Provoca lesiones oculares graves.

##### Sensibilización respiratoria o cutánea

No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

##### Resumen de la evaluación de las propiedades CMR

No se clasificará como mutágeno en células germinales, carcinógeno ni tóxico para la reproducción

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

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).

##### • Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida

Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de ingestión).

##### Peligro por aspiración

No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

##### Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas

##### • En caso de ingestión

trastornos gastrointestinales, vómitos, Puede perjudicar el hígado si la exposición se traga prolongadamente o repetidas veces

##### • En caso de contacto con los ojos

Provoca lesiones oculares graves, peligro de ceguera

##### • En caso de inhalación

Irritación de las vías respiratorias, dificultades respiratorias

##### • En caso de contacto con la piel

provoca irritación cutánea

##### Otros datos

Ninguno

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Dietanolamina  $\geq 99\%$ , para síntesis

número de artículo: HN99

### SECCIÓN 12: Información ecológica

#### 12.1 Toxicidad

según 1272/2008/CE: No se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático.

##### Toxicidad acuática (aguda)

Parámetro	Valor	Especie	Fuente	Tiempo de exposición
LC50	1.400 mg/l	pez mosquito (Gambusia affinis)		96 h
ECS0	110 mg/l	daphnia magna		48 h

#### 12.2 Procesos de degradación

La sustancia es fácilmente biodegradable.

Demanda Teórica de Oxígeno con nitrificación: 2,13 mg/mg

Demanda Teórica de Oxígeno: 1,522 mg/mg

Dióxido de Carbono Teórico: 1,674 mg/mg

Demanda Bioquímica de Oxígeno: 0,89 g/g a 5 h

Proceso	Velocidad de degradación	Tiempo
biótico/abiótico	94 %	30 d
	94 %	30 d
desaparición de oxígeno	5 %	5 d

#### 12.3 Potencial de bioacumulación

Se enriquece en organismos insignificadamente.

n-octanol/agua (log KOW) -1,43

FBC 2,3

#### 12.4 Movilidad en el suelo

No se dispone de datos.

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

No se dispone de datos.

#### 12.6 Otros efectos adversos

No se dispone de datos.

## ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Dietanolamina  $\geq 99\%$ , para síntesis

número de artículo: HN99

### SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

#### 13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Eliminense el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Eliminar el contenido/el recipiente de conformidad con la normativa local, regional, nacional o internacional.

#### Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales

No tirar los residuos por el desagüe.

#### 13.2 Disposiciones sobre prevención de residuos

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso.

#### 13.3 Observaciones

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Por favor considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

### SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1	Número ONU	(no está sometido a las reglamentaciones de transporte)
14.2	Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas	no relevantes
14.3	Clase(s) de peligro para el transporte	no relevantes
	Clase	-
14.4	Grupo de embalaje	no relevantes
14.5	Peligros para el medio ambiente	ninguno (no peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas)
14.6	Precauciones particulares para los usuarios	No hay información adicional.
14.7	Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC	El transporte a granel de la mercancía no está previsto.
14.8	Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas	
	• Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ADN)	No está sometido al ADR, RID y al ADN.
	• Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)	No está sometido al IMDG.
	• Organización de Aviación Civil Internacional (OACI-IATA/DGR)	No está sometido a la OACI-IATA.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

SULFURO DE HIDRÓGENO		ICSC: 0165 Abril 2000	
CAS:	7783-06-4	Hidruro de azufre	
RTECS:	MX1225000	Ácido sulfhídrico	
NU:	1053	H <sub>2</sub> S	
CE Índice Anexo I:	016-001-00-4	Masa molecular: 34.1	
CE / EINECS:	231-977-3		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo seco, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra) si aparece en estado líquido. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua.
<b>EXPOSICIÓN</b>		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
<b>Inhalación</b>	Dolor de cabeza. Vértigo. Tos. Dolor de garganta. Náuseas. Dificultad respiratoria. Pérdida del conocimiento. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. No aplicar respiración boca a boca. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	
<b>DERRAMES Y FUGAS</b>		<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>	
¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Eliminar toda fuente de ignición. Ventilar. Eliminar el gas con agua pulverizada. Protección personal: traje hermético de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.		Clasificación UE Símbolo: F+, T+, N R: 12-26-50 S: (1/2-)9-16-36-38-45-61 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios de las NU: 2.1	
<b>RESPUESTA DE EMERGENCIA</b>		<b>ALMACENAMIENTO</b>	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G2TF o 20S1053 Código NFPA: H4; F4; R0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco. Mantener en lugar bien ventilado. Instalar sistema de vigilancia con alarma continuo.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005 			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

<b>SULFURO DE HIDRÓGENO</b>		<b>ICSC: 0165</b>
<b>DATOS IMPORTANTES</b>		
<p><b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO</b> Gas licuado comprimido incoloro, de olor característico a huevos podridos.</p> <p><b>PELIGROS FÍSICOS</b> El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p><b>PELIGROS QUÍMICOS</b> El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. La sustancia se descompone al arder, produciendo gas tóxico (óxidos de azufre). Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca a metales y algunos plásticos.</p> <p><b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN</b> TLV: 10 ppm como TWA; 15 ppm como STEL (ACGIH 2004). MAK: 5 ppm, 7.1 mg/m<sup>3</sup>; Categoría de limitación de pico: I(2); Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2006).</p>	<p><b>VÍAS DE EXPOSICIÓN</b> La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACIÓN</b> Al producirse una pérdida de gas, se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN</b> La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. La exposición puede producir pérdida del conocimiento. La exposición puede producir la muerte. La inhalación del gas puede originar edema pulmonar (ver Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica. La evaporación rápida del líquido puede producir congelación.</p>	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
<p>Punto de ebullición: -60°C Punto de fusión: -85°C Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0.5 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.19</p>	<p>Punto de inflamación: gas inflamable Temperatura de autoignición: 260°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 4.3-46</p>	
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.		
<b>NOTAS</b>		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. En caso de envenenamiento con esta sustancia es necesario realizar un tratamiento específico; así como disponer de los medios adecuados junto a las instrucciones correspondientes. La sustancia bloquea el sentido del olfato. La alerta por el olor cuando se supera el límite de exposición es insuficiente. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2004: ver Clasificación UE, Respuesta de Emergencia, y en octubre de 2006: ver Límites de exposición.		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2012):</p> <p>VLA-ED: 5 ppm; 7 mg/m<sup>3</sup></p> <p>VLA-EC: 10 ppm, 14 mg/m<sup>3</sup></p> <p>Notas: agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.</p>		
<b>NOTA LEGAL</b>	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2005		

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Presión de vapor de agua líquida y hielo a varias temperaturas

[www.vaxasoft.com](http://www.vaxasoft.com)

Tabla 1. Presión de vapor del agua líquida entre 0 °C y 374 °C

T/°C	P/mmHg	P/hPa	T/°C	P/mmHg	P/hPa	T/°C	P/mmHg	P/hPa
0	4.58447	6.11213	47	79.709	106.27	95	634.61	846.08
0.01	4.58780	6.11657	48	83.839787	111.77719	96	658.32811	877.69863
1	4.9286	6.5709	49	88.147	117.52	97	682.78	910.30
2	5.29523	7.05973	50	92.652794	123.52690	98	707.97856	943.89378
3	5.6861	7.5808	51	97.343	129.78	99	733.95	978.52
4	6.10192	8.13522	52	102.24846	136.32007	99.97436	760.00000	1013.25000
5	6.5449	8.7258	53	107.35	143.12	100	760.69583	1014.17770
6	7.01547	9.35316	54	112.68263	150.23115	101	787.57	1050.0
7	7.5164	10.021	55	118.23	157.62	102	815.86	1087.7
8	8.047742	10.72944	56	124.01403	165.33844	103	845.12	1126.7
9	8.6130	11.483	57	130.03	173.36	104	875.06	1166.7
10	9.211800	12.28139	58	136.30436	181.72420	105	906.07	1208.0
11	9.8483	13.130	59	142.82	190.41	106	937.92	1250.5
12	10.52173	14.02782	60	149.61837	199.47476	107	970.60	1294.0
13	11.237	14.981	61	156.67	208.88	108	1004.42	1339.12
14	11.99284	15.98914	62	164.02397	218.68064	109	1038.92	1385.11
15	12.795	17.058	63	171.65	228.85	110	1074.56	1432.63
16	13.64172	18.18747	64	179.59222	239.43660	111	1111.20	1481.48
17	14.539	19.384	65	187.83	250.42	112	1148.74	1531.53
18	15.48630	20.64670	66	196.37965	261.84180	113	1187.42	1583.10
19	16.489	21.983	67	205.28	273.68	114	1227.25	1636.20
20	17.54591	23.39262	68	214.51753	285.99985	115	1267.98	1690.50
21	18.663	24.882	69	224.09	298.76	120	1489.14	1985.36
22	19.84140	26.45302	70	234.03345	312.01894	125	1740.93	2321.05
23	21.085	28.111	71	244.33	325.75	130	2026.10	2701.24
24	22.39517	29.85777	72	255.02991	340.01191	135	2347.26	3129.42
25	23.776	31.699	73	266.11	354.78	140	2710.92	3614.26
26	25.23127	33.63893	74	277.59509	370.09635	145	3116.76	4155.34
27	26.763	35.681	75	289.49	385.95	150	3570.48	4760.25
28	28.37551	37.83090	76	301.82085	402.39470	175	6694.08	8924.71
29	30.071	40.092	77	314.58	419.41	200	11 659.16	15 544.27
30	31.85546	42.47046	78	327.80268	437.03430	225	19 123.12	25 495.40
31	33.730	44.969	79	341.48	455.27	250	29 817.84	39 753.85
32	35.70064	47.59694	80	355.63988	474.14751	275	44 580.84	59 436.23
33	37.769	50.354	81	370.28	493.67	300	64 432.8	85 903.3
34	39.942	53.25230	82	385.43552	513.87177	325	90 447.6	120 587
35	42.221	56.290	83	401.10	534.76	350	124 001.6	165 321.9
36	44.61458	59.48122	84	417.29658	556.34969	360	139 893.2	186 508.9
37	47.121	62.823	85	434.04	578.67	365	148 519.2	198 009.3
38	49.75255	66.33128	86	451.33394	601.72910	366	150 320.4	200 410.7
39	52.506	70.002	87	469.21	625.56	367	152 129.2	202 822.3
40	55.39430	73.85299	88	487.66248	650.16317	368	153 960.8	205 264.2
41	58.413	77.878	89	506.73	675.58	369	155 815.2	207 736.5
42	61.58004	82.09997	90	526.40110	701.81042	370	157 692.4	210 239.2
43	64.886	86.508	91	546.72	728.90	371	159 584.8	212 762.2
44	68.35239	91.12902	92	567.67280	756.83482	372	161 507.6	215 325.8
45	71.968	95.950	93	589.31	785.68	373	163 468.4	217 939.9
46	75.756417	101.00025	94	611.60471	815.40588	373.946	165 452.0	220 584.5

[www.vaxasoft.com](http://www.vaxasoft.com)

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

ESTIMACION DE COSTES

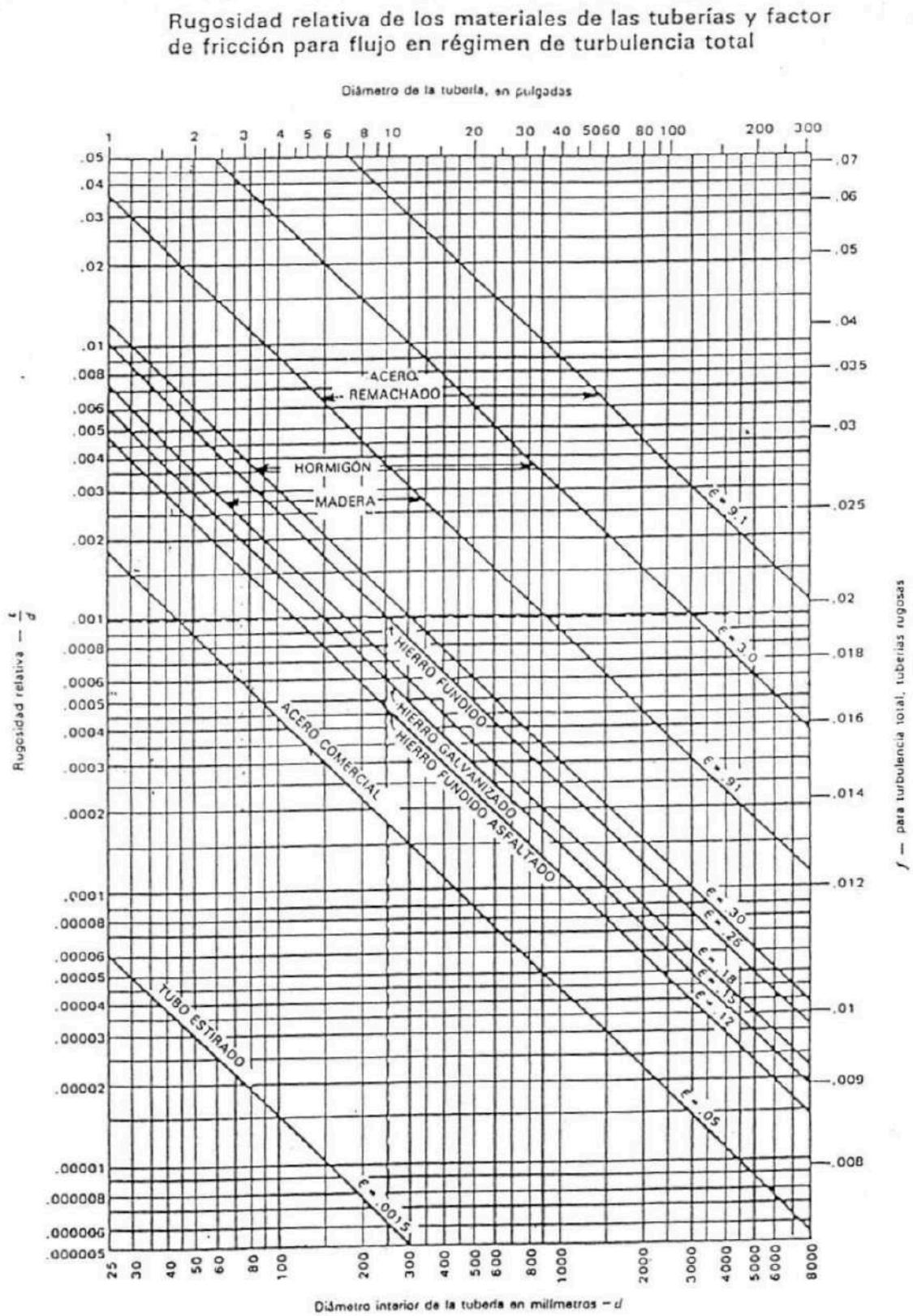
FACTORES

EQUIPOS	TUBERIAS	INSTRUMENTOS	ELECTRICIDAD	OBRA CIVIL	MONTAJE MECANICO	CALORIFUGADO	PINTURA	FACTOR EQUIPO	(L/M)
HORNOS	17.7	5.1	4.2	26.9	23.0	-	-	1.77	1.30
CAMBIADORES	44.7	10.4	4.2	19.7	64.0	11.5	2.6	2.57	1.31
AERORREFRIGERANTES	13.9	4.8	19.5	4.2	22.9	-	3.1	1.68	1.37
COLUMNAS	59,5	14.8	10.3	26.8	91.4	15.1	6.6	3,25	1.37
RECIPIENTES HORIZ.	39,7	7.8	10.5	18.0	59.3	9.5	2.6	2.47	1.41
BOMBAS	29,6	3.8	54.0	11.4	47.4	4.8	4.1	2.55	1.38
COMPRESORES	20,1	10.4	10.5	19	36.8	4.9	2.6	2.04	1.50
AGITADORES	-	-	52.5	-	5.0	-	-	1.58	1.30
CRISTALIZADORES	18	7.8	52.5	50	28.4	-	-	2.57	1.22
CENTRIFUGAS	12	11.7	46.0	23	22.6	-	-	2.15	1.26
SECADORES	18	-	23.0	31	30.04	7.6	-	2.10	1.49
RELACION (L/M)	0	0.3	1.1	1.9	=	1.45	4.0		

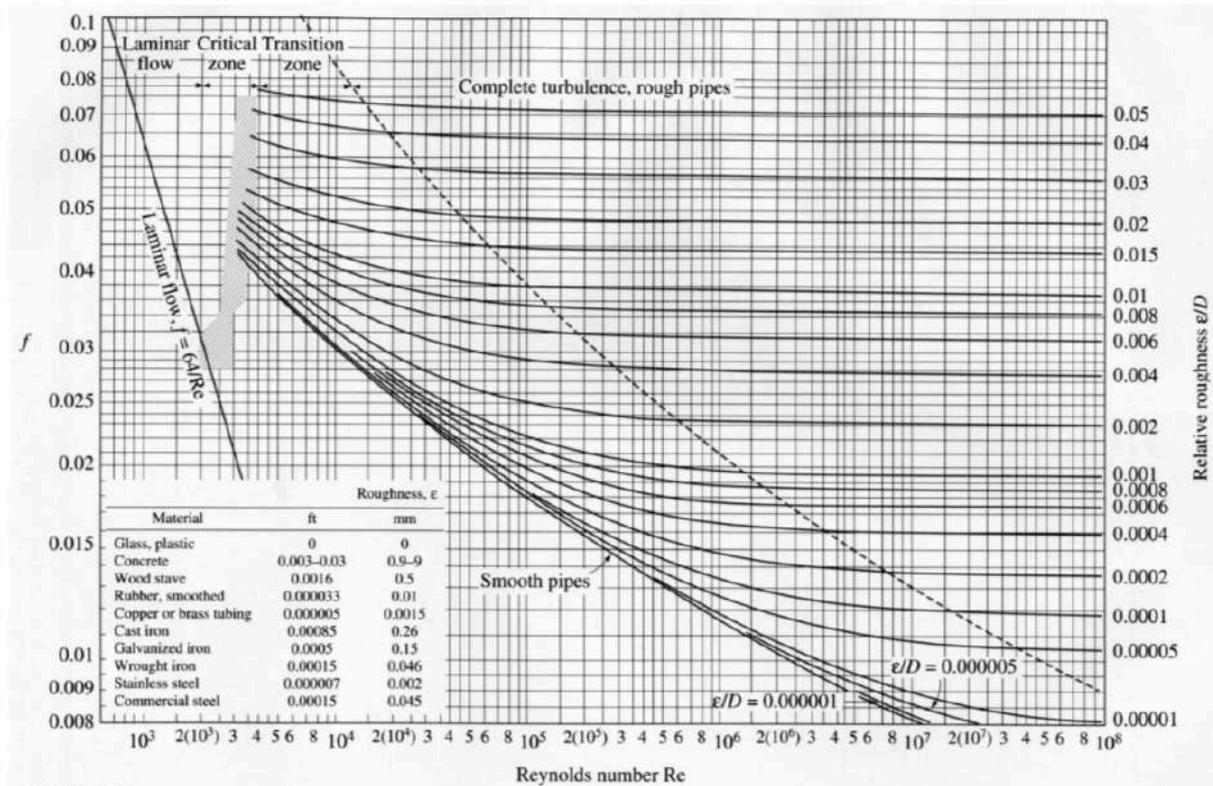
BASE: EQUIPO MAYOR = 100%

- FACTORES EN % SOBRE EL COSTE DE LA PARTIDA DE EQUIPO MAYOR; CON EXCEPCION DEL FACTOR EQUIPO, EN TANTO POR UNO.

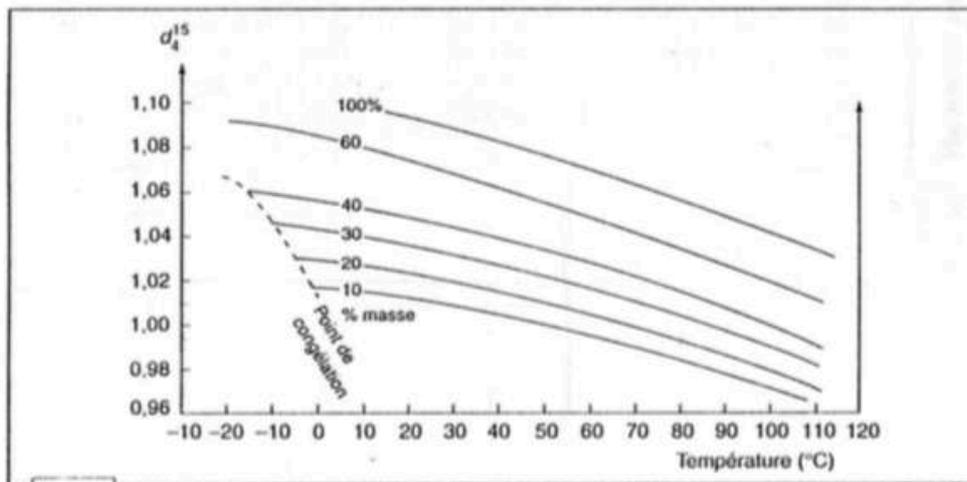
Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.



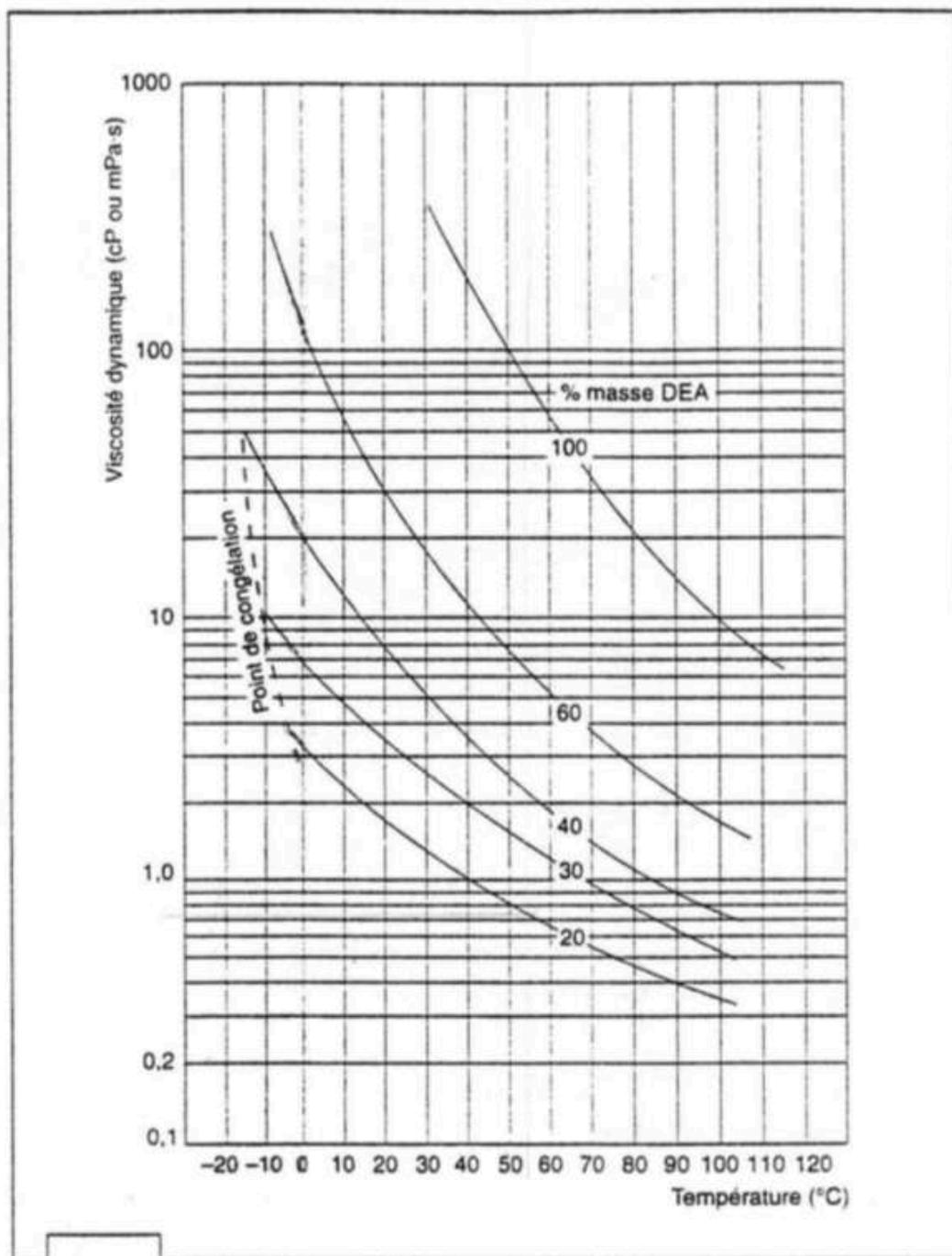
Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.



**FIGURE A-27**  
The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.



*Densité des solutions de DEA.*



*Viscosité des solutions de DEA.*



# ProSim

ProSim is a registered trademark from ProSim SA

---

**ProSim SA**  
Immeuble Stratège A  
51, rue Ampère  
31670 Labège - France  
T: +33 (0)5 62 88 24 30  
F: +33 (0)5 62 88 24 39

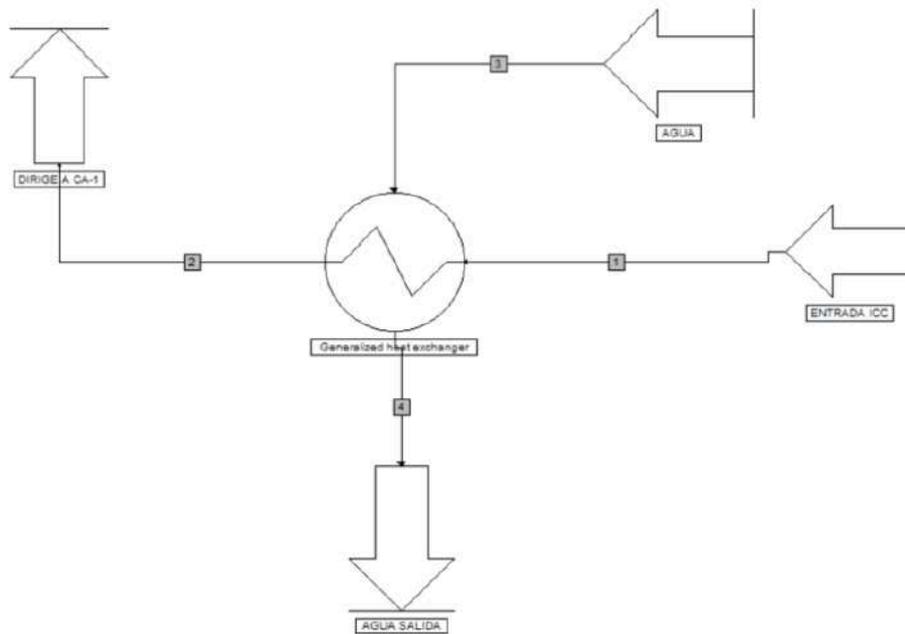
**ProSim, Inc.**  
Science Center  
3711 Market Street, 8th Floor  
Philadelphia, PA 19104 - USA  
T: +1 215-600-3760  
F: +1 215-386-3970

E-mail : [support@prosim.net](mailto:support@prosim.net) web : <http://www.prosim.net>

---

SIMULACIÓN TFG1  
ALMENDROS PASTOR, SERGIO

---



## Table of Contents <sup>[1]</sup>

[Input data file](#)

[Calculation sequence \(1\)](#)

[Thermodynamic calculator\(s\)](#)

[Process matrix](#)

[Calculation sequence \(2\)](#)

[Simulation report](#)

[Streams output report](#)

1  
2  
3  
4

[Equipment output report](#)

[AGUA](#)  
[ENTRADA ICC](#)

of type : Process feed  
of type : Process feed

BINARY INTERACTIONS PARAMETERS

## Process matrix <sup>[-]</sup>

MATERIAL STREAMS

STREAM	ORIGIN	TARGET
<a href="#">3</a>	<a href="#">AGUA</a>	<a href="#">Generalized heat ...</a>
<a href="#">1</a>	<a href="#">ENTRADA ICC</a>	<a href="#">Generalized heat ...</a>
<a href="#">2</a>	<a href="#">Generalized heat ...</a>	>>>>
<a href="#">4</a>	<a href="#">Generalized heat ...</a>	>>>>

## Calculation sequence (2) <sup>[-]</sup>

- 1 [AGUA](#)
- 2 [ENTRADA ICC](#)
- 3 [Generalized heat exchanger](#)

## Simulation report <sup>[-]</sup>

UNIT OPERATION CALCULATION SUMMARY

UNIT OPERATION	STATUS
1. AGUA	✓
2. ENTRADA ICC	✓
3. Generalized heat exchanger	✓

## Streams output report <sup>[-]</sup>

STREAM NAME : 1  
DESCRIPTION :

THERMO. CALCULATOR : [TFG1](#)  
FROM : [ENTRADA ICC](#)  
TO : [Generalized heat exchanger](#)  
PHASE : LIQUID

COMPONENT	(KMOL/HR)	MOL-FR	(KG/HR)	MAS-FR
1 DIETHYLAMINE	0.737658	5.800852E-02	53.9500	0.200000
2 WATER	11.9787	0.941991	215.800	0.800000
TOTAL	12.7164		269.750	
VAPOR FRACTION		0.00000		0.00000

LIQUID FRACTION 1.00000 1.00000  
 TEMPERATURE 39.0000 (C)  
 PRESSURE 0.201053 (ATM)  
 ENTHALPY -132731. (KCAL/HR)  
 MOLECULAR WEIGHT 21.2128 (G/MOL)

[Process matrix](#)  
[Streams table](#)

STREAM NAME : 2  
 DESCRIPTION :

THERMO. CALCULATOR : [TFG1](#)  
 FROM : [Generalized heat exchanger](#)  
 TO : >>>>  
 PHASE : LIQUID

COMPONENT	(KMOL/HR)	MOL-FR	(KG/HR)	MAS-FR
1 DIETHYLAMINE	0.737658	5.800852E-02	53.9500	0.200000
2 WATER	11.9787	0.941991	215.800	0.800000
TOTAL	12.7164		269.750	
VAPOR FRACTION		0.00000		0.00000
LIQUID FRACTION		1.00000		1.00000
TEMPERATURE	30.0000	(C)		
PRESSURE	0.201053	(ATM)		
ENTHALPY	-135628.	(KCAL/HR)		
MOLECULAR WEIGHT	21.2128	(G/MOL)		

[Process matrix](#)  
[Streams table](#)

STREAM NAME : 3  
 DESCRIPTION :

THERMO. PROFILE : \*WATER  
 FROM : [AGUA](#)  
 TO : [Generalized heat exchanger](#)  
 PHASE : LIQUID

COMPONENT	(KMOL/HR)	MOL-FR	(KG/HR)	MAS-FR
1 DIETHYLAMINE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2 WATER	16.0974	1.00000	290.000	1.00000
TOTAL	16.0974		290.000	
VAPOR FRACTION		0.00000		0.00000
LIQUID FRACTION		1.00000		1.00000
TEMPERATURE	18.0000	(C)		
PRESSURE	2.037368E-02	(ATM)		
ENTHALPY	-171335.	(KCAL/HR)		
MOLECULAR WEIGHT	18.0153	(G/MOL)		

[Process matrix](#)  
[Streams table](#)

STREAM NAME : 4  
DESCRIPTION :

THERMO. PROFILE : \*WATER  
FROM : [Generalized heat exchanger](#)  
TO : >>>>  
PHASE : VAP/LIQ

COMPONENT	(KMOL/HR)	MOL-FR	(KG/HR)	MAS-FR
1 DIETHYLAMINE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2 WATER	16.0974	1.00000	290.000	1.00000
TOTAL	16.0974		290.000	
VAPOR FRACTION		1.700234E-02		1.700234E-02
LIQUID FRACTION		0.982998		0.982998
TEMPERATURE	18.0000	(C)		
PRESSURE	2.037368E-02	(ATM)		
ENTHALPY	-168439.	(KCAL/HR)		
MOLECULAR WEIGHT	18.0153	(G/MOL)		

**VAPOR PHASE OF STREAM 4**

COMPONENT	(KMOL/HR)	MOL-FR	(KG/HR)	MAS-FR
1 DIETHYLAMINE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2 WATER	0.273694	1.00000	4.93068	1.00000
TOTAL	0.273694		4.93068	
VAPOR FRACTION		1.00000		1.00000
LIQUID FRACTION		0.00000		0.00000
TEMPERATURE	18.0000	(C)		
PRESSURE	2.037368E-02	(ATM)		
ENTHALPY	-16.3980	(KCAL/HR)		
MOLECULAR WEIGHT	18.0153	(G/MOL)		

**LIQUID PHASE OF STREAM 4**

COMPONENT	(KMOL/HR)	MOL-FR	(KG/HR)	MAS-FR
1 DIETHYLAMINE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2 WATER	15.8238	1.00000	285.069	1.00000
TOTAL	15.8238		285.069	
VAPOR FRACTION		0.00000		0.00000
LIQUID FRACTION		1.00000		1.00000
TEMPERATURE	18.0000	(C)		
PRESSURE	2.037368E-02	(ATM)		
ENTHALPY	-168422.	(KCAL/HR)		
MOLECULAR WEIGHT	18.0153	(G/MOL)		

[Process matrix](#)  
[Streams table](#)

DESCRIPTION :

OUTLET STREAM:

[3](#)

THERMODYNAMIC CALCULATOR : \*WATER

\*\*\* MATERIAL STREAM FROM FEED MODULE \*\*\*

TEMPERATURE = 18.0000 (C)  
PRESSURE = 2.037368E-02 (ATM)

COMPONENT \* MOLAR FLOWRATE  
\* (KMOL/HR)  
\*

DIETHYLAMINE \* 0.00000  
WATER \* 16.0974

TOTAL MOLAR FLOWRATE = 16.0974 (KMOL/HR)

[Process matrix](#)  
[Equipment table](#)



EQUIPMENT : ENTRADA ICC  
TYPE : Process feed  
DESCRIPTION :

OUTLET STREAM:

[1](#)

THERMODYNAMIC CALCULATOR : [TFG1](#)

\*\*\* MATERIAL STREAM FROM FEED MODULE \*\*\*

TEMPERATURE = 39.0000 (C)  
PRESSURE = 0.201053 (ATM)

COMPONENT \* MOLAR FLOWRATE  
\* (KMOL/HR)  
\*

DIETHYLAMINE \* 0.737658  
WATER \* 11.9787

TOTAL MOLAR FLOWRATE = 12.7164 (KMOL/HR)

[Process matrix](#)  
[Equipment table](#)



EQUIPMENT : Generalized heat exchanger  
TYPE : Generalized heat exchanger  
DESCRIPTION :

INLET STREAMS:

1  
3

OUTLET STREAMS:

2  
4

THERMODYNAMIC CALCULATOR : TFG1

\*\*\* COUNTER-CURRENT HEAT EXCHANGER \*\*\*

HOT STREAM : 1

INLET TEMPERATURE = 39.0000 (C)  
OUTLET TEMPERATURE = 30.0000 (C)  
PRESSURE DROP = 0.00000 (ATM)

COLD STREAM : 3

INLET TEMPERATURE = 18.0000 (C)  
OUTLET TEMPERATURE = 18.0000 (C)  
PRESSURE DROP = 0.00000 (ATM)

DTMIN (INTERNAL) = 12.0000 (C)

HEAT EXCHANGER DUTY = 2896.70 (KCAL/HR)

W A R N I N G, PHASE CHANGE ON COLD SIDE

NUMBER OF SHELL PASSES = 1  
NUMBER OF TUBE PASSES = 2

EXCHANGER SPECIFICATIONS WITHOUT CONSIDERING PHASE CHANGES :

QE : HEAT EXCHANGER DUTY  
AREA : HEAT EXCHANGE AREA  
U<sub>c</sub> : CLEAN OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT  
U : DIRTY OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT  
LMTD : LOGARITHMIC MEAN TEMPERATURE DIFFERENCE  
EFF : EFFICIENCY WITH RESPECT TO A PURE COUNTER CURRENT (ADIM)

QE (KCAL/HR)	AREA (M2)	U <sub>c</sub> (W/M2/K)	U (W/M2/K)	U*A (KCAL/HR/K)	LMTD (C)	EFF
2896.70	0.209335	1000.00	1000.00	180.116	16.0825	1.00

[Process matrix](#)  
[Equipment table](#)

## Elapsed times <sup>[-]</sup>

TIMES ELAPSED  
INITIALIZATIONS..... 0.031  
READING..... 0.125  
DATA REPORT..... 0.234  
EXECUTION..... 0.047  
OUTPUT REPORT..... 0.109  
  
TOTAL..... 0.546



**PARTE COGENERACIÓN**  
[000001] Castellón de la Plana

	Producción de biogás					Ratio producción teórica biogás (Nm3/kg SSV)	Motor cogeneración					Consumo total planta	
	Biogás generado (m3/día)	Biogás a calderas (m3/día)	Biogás a antorcha (m3/día)	Biogás a motor (parte) (m3/día)	Biogás motor (parte) (m3/día)		Totalizador horas funcion. motor	Horas funcionamiento motor (h)	Energía generada (kWh)	Calor recuperado (Kwh)	Reactiva motor (KVAr)	Consumo red + motor (Kwh)	Ratio consumo red+motor (Kwh/m3)
Enero de 2017	127.118,00	21.359,00	10.025,00	95.734,00	0,79	747,022	553	229.000	85.580		466.121	0,40	
Febrero de 2017	140.577,00	35.121,00	182,00	105.274,00	0,63	690,881	576	239.500	10.939		430.743	0,42	
Marzo de 2017	113.538,00	33.605,00	252,00	79.681,00	0,53	781,991	467	184.900	12.177		451.433	0,40	
Abril de 2017	86.494,00	25.915,00	93,00	60.486,00	0,59	768,957	434	153.100	17.859		401.482	0,38	
Mayo de 2017	91.880,00	15.696,00	423,00	75.761,00	1,15	808,937	508	186.100	66.057		419.769	0,37	
Junio de 2017	101.057,00	1.068,00	4.191,00	95.798,00	1,15	798,835	536	225.500	125.169		441.624	0,40	
Julio de 2017	93.222,00	163,00	258,00	92.801,00	0,92	842,226	562	215.700	113.982		428.559	0,40	
Agosto de 2017	73.816,00	0,00	356,00	73.460,00	1,48	859,026	474	172.700	90.542		416.652	0,40	
Septiembre de 2017	70.117,00	0,00	164,00	69.953,00	0,59	844,815	470	157.700	95.994		389.992	0,39	
Octubre de 2017	72.522,00	168,00	142,00	72.212,00	0,55	887,158	490	174.700	96.249		407.495	0,41	
Noviembre de 2017	93.962,00	327,00	59,00	93.576,00	0,61	874,719	544	215.800	101.821		412.706	0,43	
Diciembre de 2017	89.635,00	11.578,00	0,00	78.057,00	0,70	920,761	494	179.300	70.061		399.636	0,40	
<b>TOTALES</b>	<b>1.153.938,00</b>	<b>145.000,00</b>	<b>16.145,00</b>	<b>992.793,00</b>	<b>0,82</b>	<b>9.825.328</b>	<b>6.108</b>	<b>2.334.000</b>	<b>886.430</b>		<b>5.066.212</b>	<b>0,40</b>	

## 4. PLANOS

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## ÍNDICE DE PLANOS:

### 1. COMENTARIOS SOBRE LOS PLANOS.

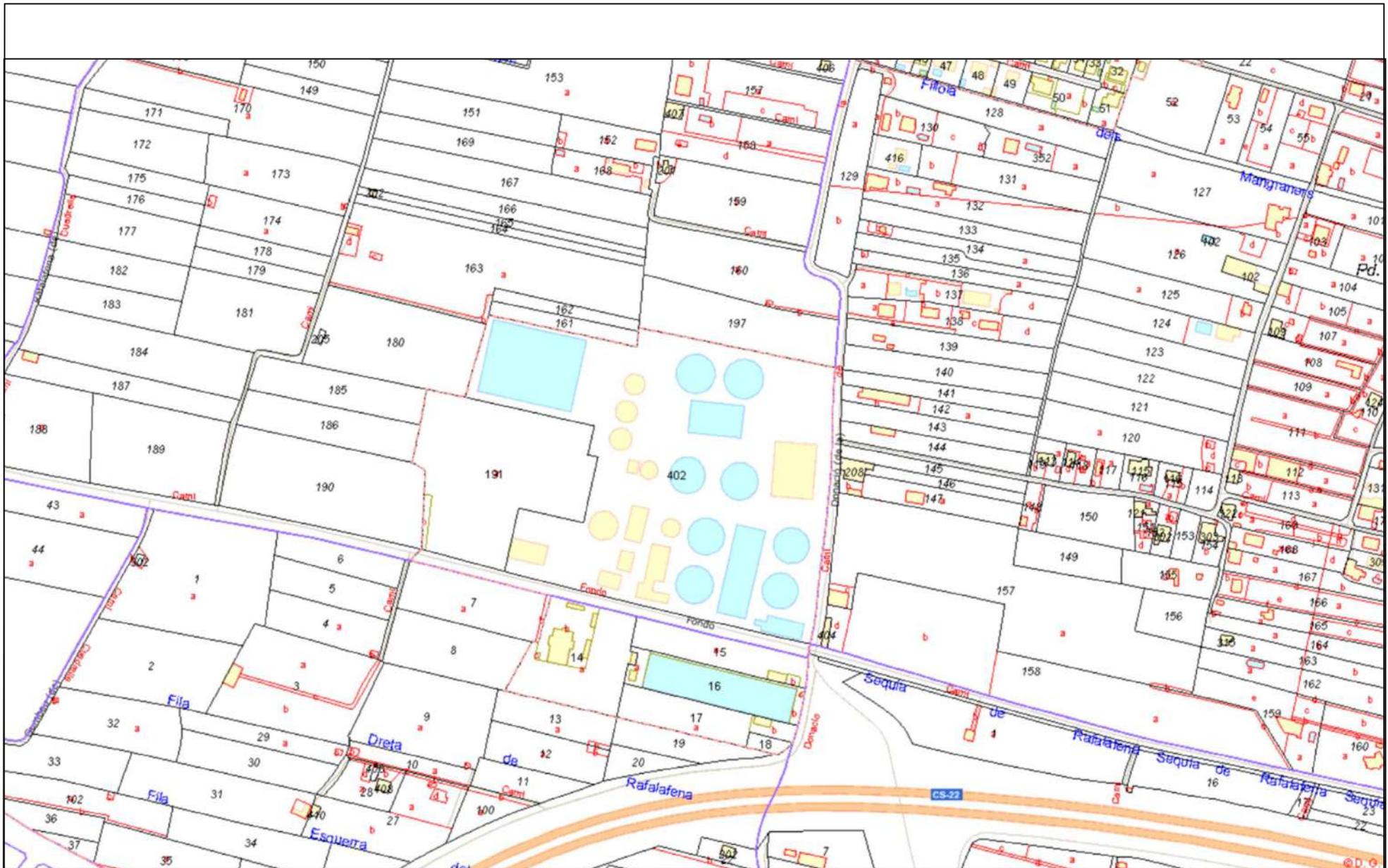
### 2. PLANOS:

- Plano 1: Plano de localización.
- Plano 2: Alzado de la instalación.
- Plano 3: Distribución en planta.
- Plano 4: Detalle columna CA-1.
- Plano 5: Digestor anaerobio EDAR CdLP.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## 1. COMENTARIOS SOBRE LOS PLANOS

- El plano número 1 ha sido formalizado por el proyectista en última instancia, pero la imagen pertenece al catastro estatal de España.
- El plano número 2 representa el alzado de la instalación y ha sido elaborado por el proyectista.
- El plano número 3 supone la distribución en planta de la instalación. Esta elaborado por el proyectista.
- El plano número 4 representa el montaje interior de la columna CA-1 en detalle. Elaborado por el proyectista.
- El plano número 5 representa el digester anaerobio de la EDAR de Castellón de la Plana, equipo que ira directamente conectado a la instalación objetivo. La normalización inicial pertenece a FACSA Grupo Gimeno, pero se han realizado ciertos arreglos por parte del proyectista para facilitar el entendimiento en el proyecto al que se circunscribe.



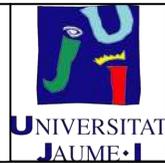
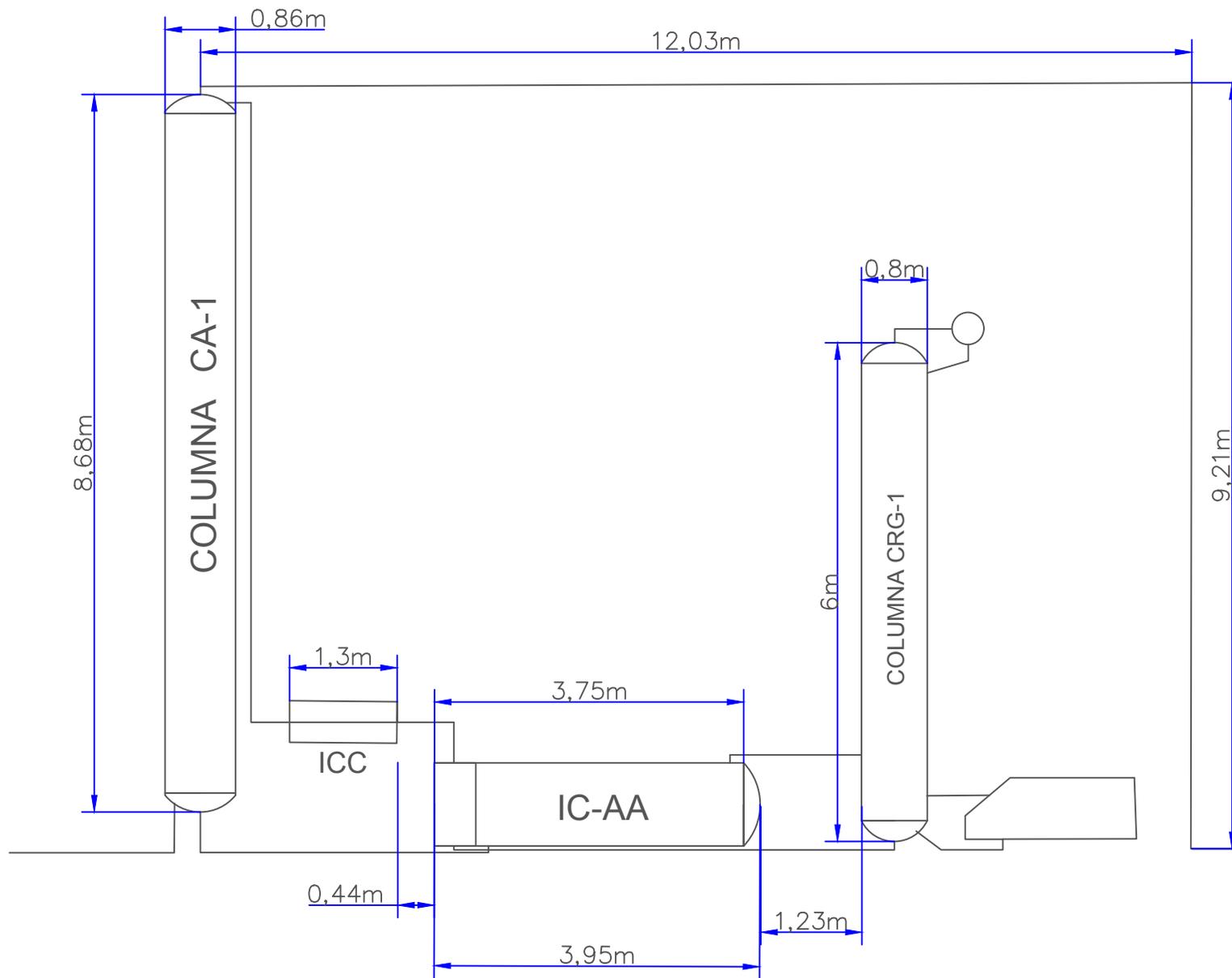
PROYECTO  
 DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESULFURACIÓN DE BIOGÁS CON  
 DIETANOLAMINA PARA SU VALORIZACIÓN ENERGÉTICA EN UNA EDAR

PROYECTISTA  
 SERGIO ALMENDROS PASTOR

4.1

PLANO DE  
 LOCALIZACIÓN

ESCALA 1:6000

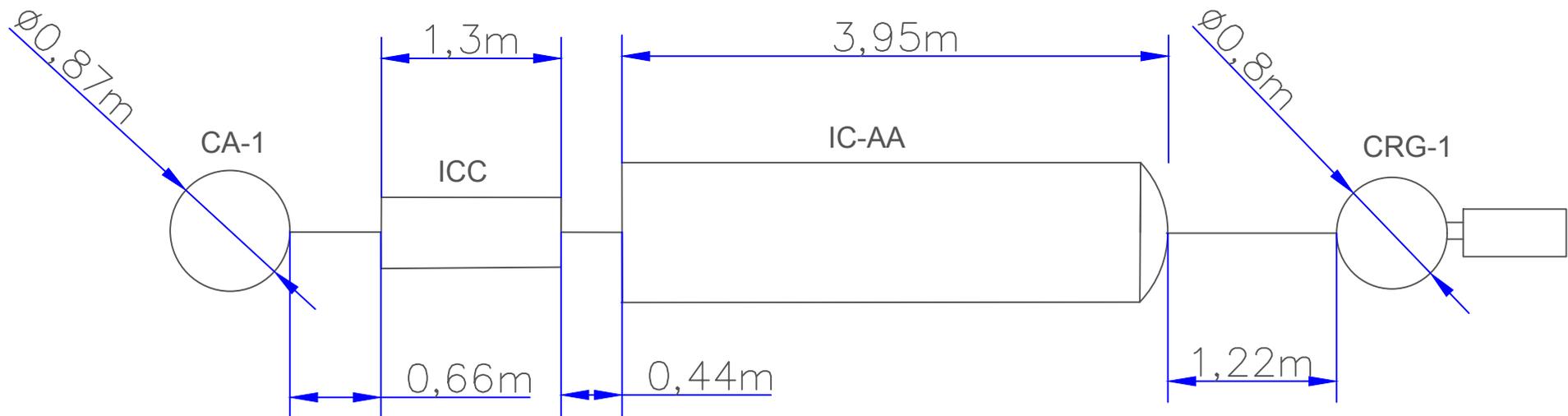


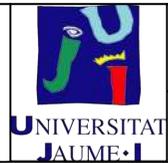
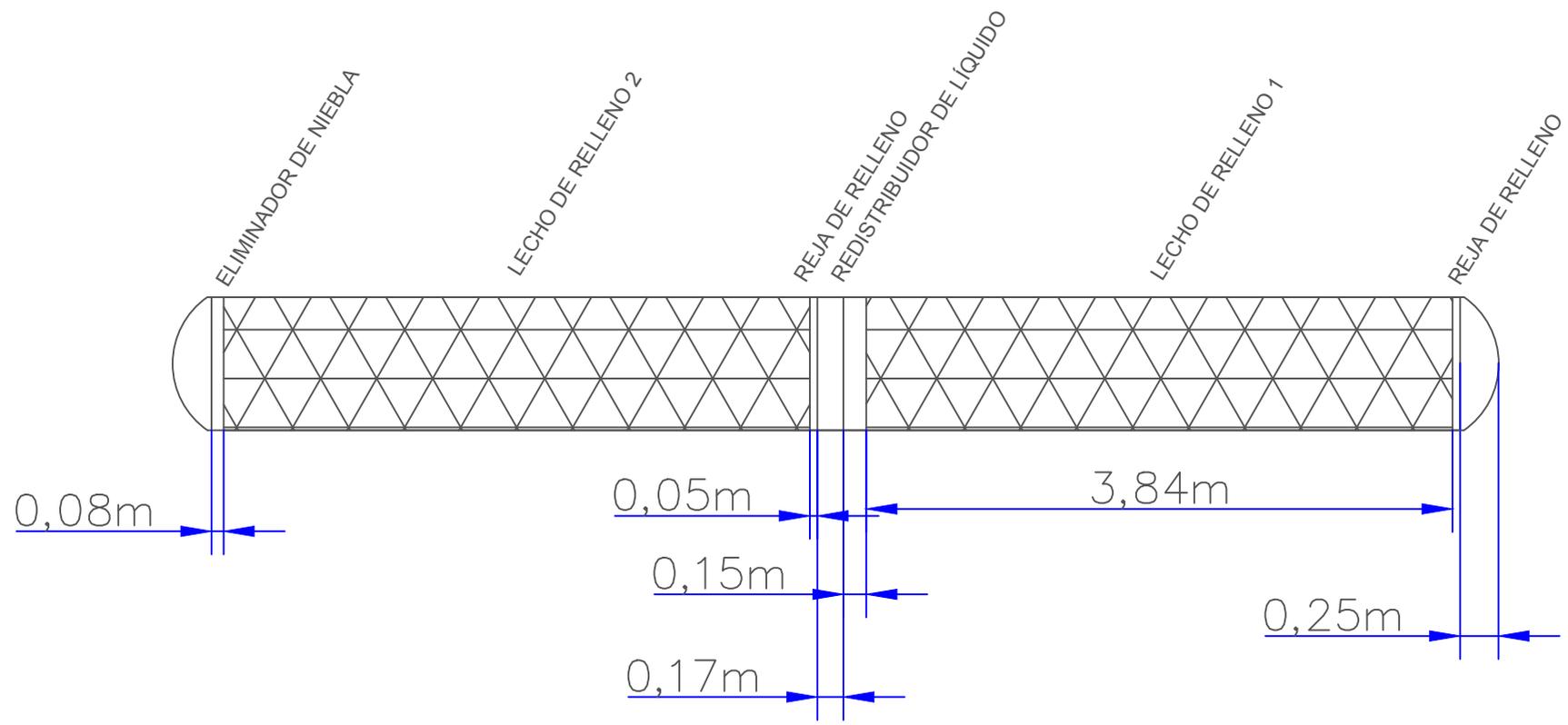
PROYECTO  
 DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESULFURACIÓN DE BIOGÁS CON  
 DIETANOLAMINA PARA SU VALORIZACIÓN ENERGÉTICA EN UNA EDAR

PROYECTISTA  
 SERGIO ALMENDROS PASTOR

4.2  
 ALZADO DE LA  
 INSTALACIÓN

ESCALA 1:200



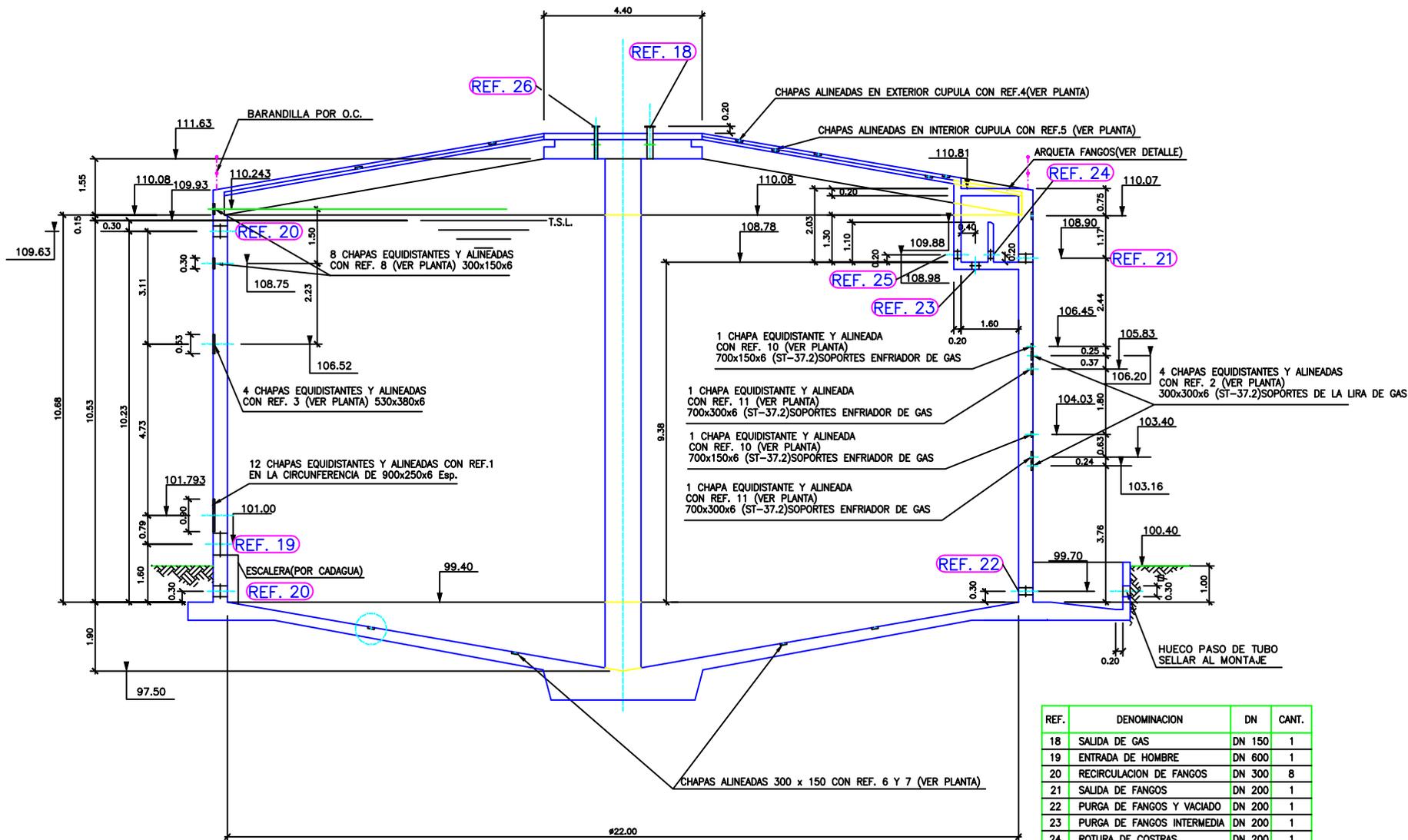


PROYECTO  
 DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESULFURACIÓN DE BIOGÁS CON  
 DIETANOLAMINA PARA SU VALORIZACIÓN ENERGÉTICA EN UNA EDAR  
 PROYECTISTA  
 SERGIO ALMENDROS PASTOR

4.4

DETALLE  
COLUMNA CA-1

ESCALA 1:200



ALZADO – SECCION CONVENCIONAL

REF.	DENOMINACION	DN	CANT.
18	SALIDA DE GAS	DN 150	1
19	ENTRADA DE HOMBRE	DN 600	1
20	RECIRCULACION DE FANGOS	DN 300	8
21	SALIDA DE FANGOS	DN 200	1
22	PURGA DE FANGOS Y VACIADO	DN 200	1
23	PURGA DE FANGOS INTERMEDIA	DN 200	1
24	ROTURA DE COSTRAS	DN 200	1
25	TOMA SUPERFICIAL – REBOSE	DN 200	1
26	INYECCION DE REACTIVOS	DN 80	1



PROYECTO  
 DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESULFURACIÓN DE BIOGÁS CON DIETANOLAMINA PARA SU VALORIZACIÓN ENERGÉTICA EN UNA EDAR

PROYECTISTA  
 FACSA GG. ARREGLOS POR SERGIO ALMENDROS PASTOR

4.5  
 DETALLE  
 DIGESTOR Nº2  
 ESCALA 1:500

## 5. PLIEGO DE CONDICIONES

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES:

<b>I. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS Y ECONÓMICAS.....</b>	<b>7</b>
<b>1. DISPOSICIONES GENERALES” .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. DISPOSICIONES DE CARÁCTER GENERAL.....</b>	<b>7</b>
1.1.1. Objeto del pliego de condiciones .....	7
1.1.2. Contrato de obra .....	7
1.1.3. Documentación del contrato de obra .....	7
1.1.4. Proyecto Arquitectónico .....	8
1.1.5. Reglamentación urbanística .....	8
1.1.6. Formalización del Contrato de Obra .....	9
1.1.7. Jurisdicción competente .....	9
1.1.8. Responsabilidad del contratista .....	9
1.1.9. Accidentes de trabajo.....	10
1.1.10. Daños y perjuicios a terceros .....	10
1.1.11. Anuncios y carteles.....	11
1.1.12. Copia de documentos.....	11
1.1.13. Suministro de materiales .....	11
1.1.14. Hallazgos .....	11
1.1.15. Causas de rescisión del contrato de obra.....	12
<b>1.2. DISPOSICIONES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES. ...</b>	<b>13</b>
1.2.1. Accesos y vallados .....	13
1.2.2. Replanteo .....	13
1.2.3. Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos.....	14
1.2.4. Orden de los trabajos .....	15
1.2.5. Facilidades para otros contratistas .....	15
1.2.6. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor .....	15
1.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto .....	16
1.2.8. Prorroga por causa de fuerza mayor.....	16
1.2.9. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra .....	16
1.2.10. Trabajos defectuosos .....	17
1.2.11. Vicios ocultos.....	17
1.2.12. Procedencia de materiales, aparatos y equipos.....	18
1.2.13. Presentación de muestras.....	18
1.2.14. Materiales, aparatos y equipos defectuosos.....	18
1.2.15. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos .....	19
1.2.16. Limpieza de las obras .....	19
1.2.17. Obras sin prescripciones explícitas.....	19
<b>1.3. DISPOSICIONES DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEXAS.....</b>	<b>20</b>
1.3.1. Consideraciones de carácter general .....	20
1.3.2. Recepción provisional .....	21
1.3.3. Documentación final de la obra .....	22
1.3.4. Medición definitiva y liquidación provisional de la obra.....	22
1.3.5. Plazo de garantía .....	22
1.3.6. Conservación de las obras recibidas provisionalmente .....	22
1.3.7. Recepción definitiva .....	22

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

1.3.8.	Prórroga del plazo de garantía .....	23
1.3.9.	Recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida .....	23
<b>2.</b>	<b>DISPOSICIONES FACULTATIVAS .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.</b>	<b>DEFINICIÓN Y ATRIBUCIONES DE LOS AGENTES DE LA EDIFICACIÓN .....</b>	<b>24</b>
2.1.1.	Promotor .....	24
2.1.2.	Proyectista.....	24
2.1.3.	El Contratista .....	25
2.1.4.	El Director de Obra .....	25
2.1.5.	El Director de la Ejecución de la Obra .....	25
2.1.6.	Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la instalación.....	26
2.1.7.	Los suministradores de productos .....	26
<b>2.2.</b>	<b>LA DIRECCIÓN FACULTATIVA.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.</b>	<b>VISITAS FACULTATIVAS .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.</b>	<b>OBLIGACIONES DE LOS AGENTES INTERVENIENTES .....</b>	<b>27</b>
2.4.1.	El Promotor .....	27
2.4.2.	El proyectista.....	29
2.4.3.	El contratista .....	30
2.4.5.	El Director de la Ejecución de la Obra.....	35
2.4.6.	Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la instalación .....	37
2.4.7.	Los suministradores de productos.....	38
2.4.8.	Los propietarios y los usuarios.....	38
<b>2.5.</b>	<b>DOCUMENTACIÓN FINAL DE OBRA .....</b>	<b>38</b>
<b>3.</b>	<b>DISPOSICIONES ECONÓMICAS.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>DEFINICIÓN .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>CONTRATO DE OBRA .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3</b>	<b>CRITERIO GENERAL .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4</b>	<b>FIANZAS .....</b>	<b>41</b>
3.4.1.	Ejecución de trabajos con cargo a la fianza .....	42
3.4.2.	Devolución de las fianzas.....	42
3.4.3.	Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales.....	42
<b>3.5</b>	<b>DE LOS PRECIOS.....</b>	<b>42</b>
3.5.1.	Precio básico.....	43
3.5.2.	Precio unitario .....	43
3.5.3.	Presupuesto de Ejecución Material (PEM) .....	45
3.5.4.	Precios contradictorios .....	45
3.5.5.	Reclamación de aumento de precios.....	46
3.5.6.	Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios.....	46
3.5.7.	De la revisión de los precios contratados .....	46
3.5.8.	Acopio de materiales .....	46
<b>3.6</b>	<b>OBRAS POR ADMINISTRACIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>3.7</b>	<b>VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS.....</b>	<b>47</b>
3.7.1.	Forma y plazos de abono de las obras.....	47
3.7.2.	Relaciones valoradas y certificaciones.....	48
3.7.3.	Mejora de obras libremente ejecutadas .....	48
3.7.4.	Abono de trabajos presupuestados con partidaalzada .....	49
3.7.5.	Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.....	49
3.7.6.	Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.....	49
<b>3.8</b>	<b>INDEMNIZACIONES MUTUAS.....</b>	<b>50</b>
3.8.1.	Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras .....	50
3.8.2.	Demora de los pagos por parte del Promotor .....	50
<b>3.9</b>	<b>VARIOS.....</b>	<b>50</b>

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

3.9.1. Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra.....	50
3.9.2. Unidades de obra defectuosas .....	51
3.9.3. Seguro de las obras.....	51
3.9.4. Conservación de la obra .....	51
3.9.5. Uso por el Contratista de edificio o bienes del Promotor .....	51
<b>3.10 RETENCIONES EN CONCEPTO DE GARANTÍA.....</b>	<b>51</b>
<b>3.11 PLAZOS DE EJECUCIÓN: PLANNING DE OBRA .....</b>	<b>52</b>
<b>3.12 LIQUIDACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS .....</b>	<b>52</b>
<b>3.13 LIQUIDACIÓN FINAL DE LA OBRA .....</b>	<b>53</b>
<b>II. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES.....</b>	<b>54</b>
<b>1. OBJETO .....</b>	<b>54</b>
<b>2. DISPOSICIONES DE APLICACIÓN .....</b>	<b>55</b>
<b>3. MATERIALES .....</b>	<b>56</b>
3.1. MATERIALES EN GENERAL.....	56
3.2. TUBERÍAS .....	56
3.2.1. Análisis y ensayos .....	56
3.3 JUNTAS PARA TUBERIAS .....	58
3.4. MATERIALES NO ESPECIFICADOS .....	59
3.5. COLUMNA DE ABSORCIÓN CA-1. ....	59
<b>4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESPECÍFICAS .....</b>	<b>60</b>
4.1 COLUMNA DE ABSORCIÓN CA-1 .....	60
4.2. RESTO DE EQUIPOS.....	60
<b>5. MAQUINARIA .....</b>	<b>62</b>
<b>6. EJECUCIÓN, CONTROL Y ABONO DE LAS OBRAS .....</b>	<b>63</b>
6.1. CONDICIONES GENERALES .....	63
6.2. CARGA Y TRANSPORTE DE ESCOMBROS A VERTEDERO .....	64
6.2.1. Ejecución de las obras .....	64
6.2.2. Medición y abono .....	64
6.3 CARTELES DE OBRA.....	64
6.4. UNIDADES NO ESPECIFICADAS.....	64

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## I. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS Y ECONÓMICAS

### 1. DISPOSICIONES GENERALES” “

#### 1.1. DISPOSICIONES DE CARÁCTER GENERAL

##### 1.1.1. Objeto del pliego de condiciones

La finalidad de este pliego es la de fijar los criterios de la relación que se establece entre los agentes que intervienen en las obras definidas en el presente proyecto y servir de base para la relación del contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

##### 1.1.2. Contrato de obra

El presente contrato tiene por objetivo la realización del diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina en una EDAR para la posterior valorización de este. Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. A tal fin, el Director de obra ofrece la documentación necesaria para la realización del contrato de obra.

##### 1.1.3. Documentación del contrato de obra

Integran el contrato de obra los siguientes documentos, relacionados por orden de prelación atendiendo al valor de sus especificaciones, en el caso de posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra. ”
- El presente Pliego de Condiciones. ”
- La documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos generales y de detalle, memorias, anejos, mediciones y presupuestos. ”En caso de interpretación prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos. ”

#### 1.1.4. Proyecto Arquitectónico

El Proyecto Arquitectónico es el conjunto de documentos que definen y determinan las exigencias técnicas, funcionales y estéticas de las obras contempladas en el artículo 2 de la Ley de Ordenación de la Edificación. En él se justificará técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos sobre tecnologías específicas o instalaciones del edificio, se mantendrá entre todos ellos la necesaria coordinación, sin que se produzca una duplicidad en la documentación ni en los honorarios a percibir por los autores de los distintos trabajos indicados.

Los documentos complementarios al Proyecto serán:

- Todos los planos o documentos de obra que, a lo largo de la misma, vaya suministrando la Dirección de obra como interpretación, complemento o precisión. ”
- El Libro de Órdenes y Asistencias ”
- El programa de Control de Calidad de Edificación y su libro de Control. ”
- El Estudio Básico de Seguridad y Salud en las obras. ”
- El Plan de Seguridad y Salud en el trabajo, elaborado por cada Contratista. ”
- Estudio de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición. ”
- Licencias y otras autorizaciones administrativas. ”

#### 1.1.5. Reglamentación urbanística

La obra a construir se ajustará a todas las limitaciones del proyecto aprobado por los organismos competentes, especialmente las que se refieren al volumen, alturas,

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

emplazamiento y ocupación del solar, así como a todas las condiciones de reforma del proyecto que pueda exigir la Administración para ajustarlo a las ordenanzas, a las Normas y al Planteamiento Vigente. Para el proyecto actual, se ha considerado que la planta ya en operación cuenta con todos los permisos pertinentes de ocupación, y que todas sus construcciones se ajustan a la normativa vigente.

### 1.1.6. Formalización del Contrato de Obra

Los Contratos se formalizarán, en general, mediante documento privado, que podrá elevarse a escritura pública, a petición de cualquiera de las partes.

El cuerpo de estos documentos contendrá:

- La comunicación de la adjudicación. ”
- La copia del recibo de depósito de la fianza (en caso de que se haya exigido).
- La cláusula en la que se exprese, de forma categórica, que el Contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en este Pliego de Condiciones, junto con la Memoria y sus Anejos, el Estado de Mediciones, Presupuestos, Planos y todos los documentos que han de servir de base para la realización de las obras definidas en el presente Proyecto. ”

### 1.1.7. Jurisdicción competente

En el caso de no llegar a un acuerdo cuando surjan diferencias entre las partes, ambas quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones derivadas de su contrato a las Autoridades y Tribunales Administrativos con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese ubicada la obra.

### 1.1.8. Responsabilidad del contratista

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones  
Pliego de condiciones

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto.

En consecuencia, quedará obligado a la demolición y reconstrucción de todas las unidades de obra con deficiencias o mal ejecutadas, sin que pueda servir de excusa el hecho de que la Dirección Facultativa haya examinado y reconocido la construcción durante sus vistas de obra, ni que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

### 1.1.9. Accidentes de trabajo

Es de obligado cumplimiento el R.D. 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción y demás legislación vigente que, tanto directa como indirectamente, inciden sobre la planificación de seguridad y salud en el trabajo de la construcción, conservación y mantenimiento de edificios.

Es responsabilidad del coordinador de Seguridad y Salud, en virtud del R.D. 1627/97, el control y el seguimiento, durante toda la ejecución de la obra, del Plan de Seguridad y Salud redactado por el Contratista.

### 1.1.10. Daños y perjuicios a terceros

El Contratista será el responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las colindantes o contiguas.

Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiere lugar, y de todos los daños y perjuicios que puedan ocasionarse o causarse en las operaciones de la ejecución de las obras.

Asimismo, será responsable de los daños y perjuicios directos o indirectos que se puedan ocasionar frente a terceros como consecuencia de la obra, tanto en ella como en sus alrededores, incluso los que se produzcan por omisión o negligencia del personal a su cargo, así como los que se deriven de los subcontratistas e industriales que intervengan en la obra.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Es de su responsabilidad mantener vigente durante la ejecución de los trabajos una póliza de seguros frente a terceros, en modalidad de “Todo riesgo al derribo y la construcción”, suscrita por una compañía aseguradora con la suficiente solvencia para cobertura de los trabajos contratados. Dicha póliza será aportada y ratificada por el Promotor o Propiedad, no pudiendo ser cancelada mientras no se firme el Acta de Recepción Provisional de la obra.

### 1.1.11. Anuncios y carteles

Sin previa autorización del Promotor, no se podrán colocar en las obras ni en sus vallas más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y los exigidos por la policía local.

### 1.1.12. Copia de documentos

El Contratista, a su costa, tiene derecho a sacar copias de los documentos integrantes del Proyecto.

### 1.1.13. Suministro de materiales

Se especificará en el Contrato la responsabilidad que pueda caber al Contratista por el retraso en el plazo de terminación o en plazos parciales, como consecuencia de deficiencias o faltas en los suministros.

### 1.1.14. Hallazgos

El Promotor se reserva la posesión de las antigüedades, objetos de arte o sustancias minerales utilizables que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en sus terrenos o edificaciones. El Contratista deberá emplear, para extraerlos, todas las precauciones que se le indiquen por parte del Director de Obra.

El promotor abonará al Contratista el exceso de obras o gastos especiales que estos trabajos ocasionen, siempre que estén debidamente justificados y aceptados por la

Dirección Facultativa.

#### 1.1.15. Causas de rescisión del contrato de obra

Se considerarán causas suficientes de rescisión de contrato:

- La muerte o incapacitación del Contratista. ”
- La quiebra del Contratista. ”
- Las alteraciones del contrato por las causas siguientes: ”
  - La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio del Director de Obra y, en cualquier caso, siempre que la variación del Presupuesto de Ejecución Material, como consecuencia de estas modificaciones, represente una desviación mayor del 20%.
  - Las modificaciones de unidades de obra, siempre que representen variaciones en más o en menos del 40% del proyecto original, o más de un 50% de unidades de obra del proyecto reformado.
    - La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año y, en todo caso, siempre que por causas ajenas al Contratista no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática. ”
    - Que el Contratista no comience los trabajos dentro del plazo señalado en el contrato. ”
    - El incumplimiento de las condiciones del contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras. ”
    - El vencimiento del plazo de ejecución de la obra. ”
    - El abandono de la obra sin causas justificadas. ”

- La mala fe en la ejecución de la obra. ”**1.1.16. Omisiones: Buena fe** ”Las relaciones entre el Promotor y el Contratista, reguladas por el presente Pliego de Condiciones y la documentación complementaria, presentan la prestación de un servicio al Promotor por parte del contratista mediante la ejecución de una obra, basándose en la BUENA FE mutua de ambas partes, que pretenden beneficiarse de esta colaboración sin ningún tipo de perjuicio. Por este motivo, las relaciones entre ambas partes y las omisiones que pueda existir en este Pliego y la documentación complementaria del proyecto y de la obra, se entenderán siempre suplidas por la BUENA FE de las partes, que las subsanarán debidamente con el fin de conseguir una adecuada CALIDAD FINAL de la obra. ”

## 1.2. DISPOSICIONES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES.

Se describen las disposiciones básicas a considerar en la ejecución de las obras relativas a los trabajos, materiales y medios auxiliares, así como a las recepciones de los edificios objeto del presente proyecto y sus obras anexas.

### 1.2.1. Accesos y vallados

El Contratista dispondrá, por su cuenta, los accesos a la obra, el cerramiento o el vallado de ésta y su mantenimiento durante la ejecución de la obra, pudiendo exigir el Director de Ejecución de la obra su modificación o mejora.

### 1.2.2. Replanteo

El contratista iniciará “in situ” el replanteo de las obras, señalando las referencias principales que mantendrá como base de posteriores replanteos parciales.

Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta económica.

Asimismo, someterá el replanteo a la aprobación del Director de Ejecución de la obra y,

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

una vez éste haya dado su conformidad, preparará el Acta de Inicio y Replanteo de la Obra acompañada de un plano de replanteo definitivo, que deberá ser aprobado por el Director de Obra. Será responsabilidad del Contratista la deficiencia o la omisión de este trámite.

### 1.2.3. Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos

El Contratista dará comienzo a las obras en el plazo especificado en el respectivo contrato, desarrollándose de manera adecuada para que dentro de los períodos parciales señalados se realicen los trabajos, de modo que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo establecido en el contrato.

Será obligación del contratista comunicar a la Dirección Facultativa el inicio de las obras, de forma fehaciente y preferiblemente por escrito, al menos con tres días de antelación.

El Director de Obra redactará el acta de comienzo de la obra y la suscribirán en la misma obra junto con él, el día de comienzo de los trabajos, el director de la Ejecución de la obra, el promotor y el contratista.

Para la formalización del acta de comienzo de la obra, el Director de la obra comprobará que en la obra existe copia de los siguientes documentos.

- Proyecto de Ejecución, Anexos y modificaciones. ”
- Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo y su acta de aprobación por parte del coordinador de seguridad y Salud durante la ejecución de los trabajos. ”
- Licencia de Obra otorgada por el Ayuntamiento. ”
- Aviso previo a la Autoridad laboral competente efectuado por el promotor. ”
- Comunicación de apertura de centro de trabajo efectuada por el Contratista. ”
- Otras autorizaciones, permisos y licencias que sean preceptivas por otras administraciones. ”

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Libro de Órdenes y Asistencias. ”
- Libro de Incidencias. ”La fecha del acta de comienzo de la obra marca el inicio de los plazos parciales y total de la ejecución de la obra. ”

### 1.2.4. Orden de los trabajos

La determinación del orden de los trabajos es, generalmente, facultad del Contratista, salvo en aquellos casos en que, por circunstancias de naturaleza técnica, se estime conveniente su variación por parte de la Dirección Facultativa.

### 1.2.5. Facilidades para otros contratistas

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista dará todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a los Subcontratistas u otros Contratistas que intervengan en la ejecución de la obra. Todo ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar por la utilización de los medios auxiliares o los suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio todos ellos se ajustarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

### 1.2.6. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor

Cuando se precise ampliar el Proyecto, por motivo imprevisto o por cualquier incidencia, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones de la Dirección Facultativa en tanto se formula o se tramita el Proyecto Reformado.

El Contratista está obligado a realizar, con su personal y sus medios materiales, cuanto la Dirección de Ejecución de la Obra disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalces o cualquier obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

#### 1.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto

El Contratista podrá requerir del Director de obra o del Director de Ejecución de la obra, según sus respectivos cometidos y atribuciones, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de la obra proyectada.

Cuando se trate de interpretar, aclarar o modificar preceptos de los Pliegos de condiciones o indicaciones de los planos, croquis, órdenes e instrucciones correspondientes, se comunicarán necesariamente por escrito al Contratista, estando éste a su vez obligado a devolver los originales o las copias, suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos e instrucciones que reciba tanto del director de Ejecución de la obra, como del Director de Obra.

Cualquier reclamación que crea oportuno hacer el contratista en contra de las disposiciones tomadas por la Dirección Facultativa, habrá de dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiera dictado, el cual le dará el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

#### 1.2.8. Prorroga por causa de fuerza mayor

Por causa de fuerza mayor o independientemente de la voluntad del Contratista, éste no pudiese comenzar las obras, tuviese que suspenderlas o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para su cumplimiento, previo informe favorable del Director de obra. Para ello, el Contratista expondrá, en escrito dirigido al Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

#### 1.2.9. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito, no se le hubiese

proporcionado.

#### 1.2.10. Trabajos defectuosos

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en el proyecto, y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo estipulado.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la instalación, el Contratista es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que puedan existir por su mala ejecución, no siendo eximente el que la Dirección Facultativa lo haya examinado o reconocido con anterioridad, ni tampoco el hecho de que estos trabajos haya sido valorados en las Certificaciones Parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de Ejecución de la Obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos y equipos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o una vez finalizados con anterioridad a la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean sustituidas o demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado a expensas del Contratista. Si ésta no estimase justa la decisión y se negase a la sustitución, demolición y reconstrucción ordenadas, se planteará la cuestión ante el Director de Obra, quien medirá para resolverla.

#### 1.2.11. Vicios ocultos

El Contratista es el único responsable de los vicios ocultos y de los defectos de la construcción, durante la ejecución de las obras y el período de garantía, hasta los plazos prescritos después de la terminación de las obras, aparte de otras responsabilidades legales o de cualquier índole que puedan derivarse.

Si el Director de Ejecución de la Obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará, cuando

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

estime oportuno, realizar antes de la recepción definitiva los ensayos, destructivos o no, que considere necesarios para reconocer o diagnosticar los trabajos que suponga defectuosos, dando cuenta de la circunstancia al Director de la Obra.

El Contratista demolerá y reconstruirá posteriormente a su cargo, todas las unidades de obra mal ejecutadas, sus consecuencias, daños y perjuicios, no pudiendo eludir su responsabilidad por el hecho de que el director de Obra y/o el Director de Ejecución de Obra lo hayan examinado o reconocido con anterioridad, o que haya sido conformada o abonada una parte o la totalidad de las obras mal ejecutadas.

### 1.2.12. Procedencia de materiales, aparatos y equipos

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales, aparatos y equipos de todas clases donde considere oportuno y conveniente para sus intereses, excepto en aquellos casos en los que se preceptúe una procedencia y características específicas en el proyecto.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo, acopio y puesta en obra, el Contratista deberá presentar al Director de Ejecución de la obra una lista completa de los materiales, aparatos y equipos que vaya a utilizar, en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre sus características técnicas, marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

### 1.2.13. Presentación de muestras

A petición del Director de Obra, el contratista presentará las muestras de los materiales, aparatos y equipos, siempre con la antelación prevista en el calendario de obra.

### 1.2.14. Materiales, aparatos y equipos defectuosos

Cuando los materiales, aparatos, equipos y elementos de instalaciones no fuesen de la calidad y características técnicas prescritas en el proyecto, no tuvieran la preparación en él exigida o cuando, a falta de prescripciones formales, se reconociera o demostrara que no son los adecuados para su fin, el Director de Obra, a instancias del Director de

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Ejecución de la Obra, dará la orden al Contratista de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o sean los adecuados al fin al que se destinen.

Si, a los 15 días de recibir el Contratista orden de que retire los materiales que no están en condiciones, ésta no ha sido cumplida, podrá hacerlo el Promotor o Propiedad a cuenta del Contratista.

En el caso de que los materiales, aparatos, equipos o elementos de instalaciones fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de Obra, se recibirán con la rebaja del precio que aquél determine, a no ser que el Contratista prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

### 1.2.15. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras correrán a cargo y cuenta del Contratista.

Todo ensayo que no resulte satisfactorio, no se realice por omisión del Contratista, o que no ofrezca las suficientes garantías, podrá comenzarse nuevamente o realizarse nuevos ensayos o pruebas especificadas en el proyecto, a cargo y cuenta del Contratista y con la penalización correspondiente, así como todas las obras complementarias a que pudieran dar lugar cualquiera de los supuestos anteriormente citados y que el Director de Obra considere necesarios.

No se considerarán como pruebas o ensayos aquellos ya definidos por el proyectista en el presupuesto del proyecto, siendo todos aquellos fuera de este listado los que se considerarían en este supuesto.

### 1.2.16. Limpieza de las obras

Es obligación del Contratista mantener limpias las obras y sus alrededores tanto de escombros como de materiales sobrantes, retirar las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como ejecutar todos los trabajos y adoptar las medidas que sean apropiadas para la obra presente buen aspecto.

### 1.2.17. Obras sin prescripciones explícitas

En la ejecución de trabajos que pertenecen a la construcción de las obras, y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en este Pliego ni en la restante documentación del proyecto, el Contratista se atenderá, el primer término a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras, y, en segundo lugar, a las normas y prácticas de la buena construcción.

### 1.3. DISPOSICIONES DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEXAS

#### 1.3.1. Consideraciones de carácter general

La recepción de la obra es el acto por el cual el Contratista, una vez concluida la obra, hace entrega de la misma al Promotor y es aceptada por éste. Podrá realizarse con o sin reservas y deber abarcar la totalidad de la obra o fases completas y terminadas de la misma, cuando así se acuerde por las partes.

La recepción debe consignarse en un acta firmada, al menos, por el Promotor y el contratista, haciendo constar:

- Las partes que intervienen. ”
- La fecha del certificado final de la totalidad de la obra o de la fase completa y terminada de la misma. ”
- El coste final de la ejecución material de la obra. ”
- La declaración de la recepción de la obra con o sin reservas, especificando, en su caso, éstas de manera objetiva, y el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. Una vez subsanados los mismos, se hará constar en un acta aparte, suscrita por los firmantes de la recepción. ”

Asimismo, se adjuntará el certificado final de obra suscrito por el Director de Obra y el Director de la Ejecución de la Obra.

El Promotor podrá rechazar la recepción de la obra por considerar que la misma no está terminada o que no se adecúa a las condiciones contractuales.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

En todo caso, el rechazo deberá ser motivado por escrito en el acta, en la que se fijará el nuevo plazo para efectuar la recepción.

Salvo pacto expreso en contrario, la recepción de la obra tendrá lugar dentro de los treinta días siguientes a la fecha de su terminación, acreditada en el certificado final de obra, plazo que se contará a partir de la notificación efectuada por escrito al promotor. La recepción se entenderá tácitamente producida si transcurridos treinta días desde la fecha indicada el promotor no hubiera puesto de manifiesto reservas o rechazo motivado por escrito.

El cómputo de los plazos de responsabilidad y garantía será el establecido en la legislación, y se iniciará a partir de la fecha en que se suscriba el acta de recepción, o cuando se entienda ésta tácitamente producida según lo previsto en el apartado anterior.

### 1.3.2. Recepción provisional

Treinta días antes de dar por finalizadas las obras, comunicará el Director de Ejecución de la Obra al Promotor o Propiedad la proximidad de su terminación a fin de convenir el acto de la Recepción Provisional.

Ésta se realizará con la intervención de la Propiedad, del Contratista, del Director de Obra y del Director de Ejecución de la Obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicando un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá una acta con tanto ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas.

Seguidamente, los Técnicos de la Dirección extenderán el correspondiente Certificado de Final de Obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar expresamente en el Acta y se darán al Contratista las oportunas instrucciones para subsanar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el Contratista no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato con la

pérdida de la fianza.

#### 1.3.3. Documentación final de la obra

El director de Ejecución de la obra, asistido por el Contratista y los técnicos que hubieran intervenido en la obra, redactará la documentación final de las obras, que se facilitará al Promotor, con las especificaciones y contenidos dispuestos por la legislación vigente, en el caso de viviendas con lo que se establece los párrafos 2, 3, 4 y 5 del apdo. 2 del art. 4o del R.D. 515/89, de 21 de abril.

#### 1.3.4. Medición definitiva y liquidación provisional de la obra

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de Ejecución de la Obra a su edición definitiva, con precisa asistencia del Contratista o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que, aprobada por el Director de obra con su firma, servirá para el abono por el Promotor del saldo resultante menos la cantidad retenida en concepto de fianza.

#### 1.3.5. Plazo de garantía

El plazo de garantía deberá estipularse en el contrato privado y, en cualquier caso, nunca deberá ser inferior a seis meses.

#### 1.3.6. Conservación de las obras recibidas provisionalmente

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo y cuenta del Contratista.

Si la instalación fuese utilizada antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza y reparaciones ocasionadas por el uso correrán a cargo de la Propiedad y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo del Contratista.

#### 1.3.7. Recepción definitiva

La recepción definitiva se realizará después de transcurrido el plazo de garantía, en igual modo y con las mismas formalidades que la provisional. A partir de esa fecha cesará la obligación del Contratista de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de las instalaciones, y quedarán sólo subsidiarios

todas las responsabilidades que pudieran derivar de los vicios de construcción.

#### 1.3.8. Prórroga del plazo de garantía

Si, al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el director de obra indicará al contratista los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias. De no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con la pérdida de la fianza.

#### 1.3.9. Recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida

En caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo fijado, la maquinaria, instalaciones y medios auxiliares, a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa sin problema alguno.

Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos anteriormente. Transcurrido el plazo de garantía, se recibirán definitivamente según lo dispuesto anteriormente.

Para las obras y trabajos no determinados, pero aceptables a juicio del Director de obra, se efectuará una sola y definitiva recepción.

## 2. DISPOSICIONES FACULTATIVAS

### 2.1. DEFINICIÓN Y ATRIBUCIONES DE LOS AGENTES DE LA EDIFICACIÓN

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la Ley 38/66 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.).

Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la LOE y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

#### 2.1.1. Promotor

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Asume la iniciativa de todo el proceso de la obra, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra inicialmente proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios. Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparan también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la obra.

Cuando las Administraciones públicas y los organismos sujetos a la legislación de contratos de las Administraciones públicas actúen como promotores, se regirán por la legislación de contratos de las Administraciones públicas y, en lo no contemplado en la misma, por las disposiciones de la LOE.

#### 2.1.2. Proyectista

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la LOE, cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

### 2.1.3. El Contratista

Es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra.

Cabe efectuar especial mención de que la ley señala como responsable explícito de los vicios o defectos constructivos al contratista general de la obra, sin perjuicio del derecho de repetición de éste hacia los subcontratistas.

### 2.1.4. El Director de Obra

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas, y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos, bajo la coordinación del director de Obra.

### 2.1.5. El Director de la Ejecución de la Obra

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo instalado. Para ello es requisito indispensable el estudio

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

y análisis previo del proyecto de ejecución una vez redactado por el ingeniero, procediendo a solicitarle, con antelación al inicio de las obras, todas aquellas aclaraciones, subsanaciones o documentos complementarios que, dentro de su competencias y atribuciones legales, estimara necesarios para poder dirigir de manera solvente la ejecución de las mismas.

### 2.1.6. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la instalación

Son entidades de control de calidad de la instalación aquellas capacitadas para presentar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable.

Son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la instalación los capacitados para prestar asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de la obra.

### 2.1.7. Los suministradores de productos

Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción para la instalación.

Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra, incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

## 2.2. LA DIRECCIÓN FACULTATIVA

En correspondencia con la L.O.E., la Dirección Facultativa está compuesta por la Dirección de Obra y la Dirección de Ejecución de la Obra. A la Dirección Facultativa se integrará el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en fase de ejecución de la obra, en el caso de que se haya adjudicado dicha misión a facultativo distinto de los anteriores.

Representa técnicamente los intereses del promotor durante la ejecución de la obra, dirigiendo el proceso de construcción en función de las atribuciones profesionales de cada técnico participante.

### 2.3. VISITAS FACULTATIVAS

Son las realizadas a la obra de manera conjunta o individual por cualquiera de los miembros que componen la Dirección Facultativa. La intensidad y número de visitas dependerá de los cometidos que a cada agente le son propios, pudiendo variar en función de los requerimientos específicos y de la mayor o menor exigencia presencial requerible al técnico al efecto en cada caso y según cada una de las fases de la obra.

Deberán adaptarse al proceso lógico de construcción, pudiendo los agentes ser o no coincidentes en la obra en función de la fase concreta que se esté desarrollando en cada momento y del cometido exigible a cada cual.

### 2.4. OBLIGACIONES DE LOS AGENTES INTERVENIENTES

Las obligaciones de los agentes que intervienen en la ejecución de la obra son las contenidas en los artículos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16, del capítulo 11 de la L.O.E. y demás legislación aplicable.

#### 2.4.1. El Promotor

- Ostentar sobre la propiedad la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él. ”
- Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al Director de Obra, al Director de la Ejecución de la Obra y al Contratista posteriores modificaciones del mismo que fueran imprescindibles para llevar a buen fin lo proyectado. ”
- Elegir y contratar a los distintos agentes, con la titulación y capacitación

profesional necesaria, que garanticen el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para realizar en su globalidad y llevar a buen fin el objeto de lo promovido, en los plazos estipulados y en las condiciones de calidad exigibles mediante el cumplimiento de los requisitos básicos estipulados para los edificios.

- Gestionar y hacerse cargo de las preceptivas licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes que, de conformidad con la normativa aplicable. ”

- Garantizar los daños materiales que la instalación pueda sufrir, para la adecuada protección de los intereses de los usuarios finales, en las condiciones legalmente establecidas, asumiendo la responsabilidad civil de forma personal e individualizada, tanto por actos propios como por actos de otros agentes por los que, con arreglo a la legislación vigente, se deba responder. ”

- El Promotor no podrá dar orden de inicio de las obras hasta que el Contratista haya redactado su Plan de Seguridad y, además, éste haya sido aprobado por el Coordinador en Materia de Seguridad y Salud en fase de Ejecución de la obra, dejando constancia expresa en el Acta de Aprobación realizada al efecto. ”

- Efectuar el denominado Aviso Previo a la autoridad laboral competente, haciendo constar los datos de la obra, redactándolo de acuerdo a lo especificado en el Anexo III del R.D.1627/97. Copia del mismo deberá exponerse en la obra de forma visible, actualizándolo si fuese necesario. ”

- Suscribir el acta de recepción final de las obras, una vez concluidas éstas, haciendo constar la aceptación de las obras, que podrá efectuarse con o sin reservas y que deberá abarcar la totalidad de las obras o fases completas. En el caso de hacer mención expresa a reservas para la recepción, deberán mencionarse de manera detallada las deficiencias y se deberá hacer constar el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. ”

- Entregar al adquirente y usuario inicial, en su caso, el manual de uso y mantenimiento del mismo y demás documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones competentes.

#### 2.4.2. El proyectista

- Redactar el proyecto por encargo del Promotor, con sujeción a la normativa técnica en vigor y conteniendo la documentación necesaria para tramitar tanto la licencia de obras y demás permisos administrativos (proyecto básico) como para ser interpretada y poder ejecutar totalmente la obra, entregando al Promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por su colegio profesional.
- Definir el concepto global del proyecto de ejecución con el nivel de detalle gráfico y escrito suficiente y calcular los elementos fundamentales de la instalación, en especial las posibles cimentaciones y estructuras. ”
- Concretar en el Proyecto el emplazamiento de cuartos de máquinas, de contadores, hornacinas, espacios asignados para subida de conductos, reservas de huecos de ventilación, alojamiento de sistemas de telecomunicación y, en general, de aquellos elementos necesarios en la instalación para facilitar las determinaciones concretas y especificaciones detalladas que son cometido de los proyectos parciales, debiendo éstos adaptarse al Proyecto de Ejecución, no pudiendo contravenirlo en modo alguno. Deberá entregarse necesariamente un ejemplar del proyecto complementario al Arquitecto antes del inicio de las obras o instalaciones correspondientes. ”
- Acordar con el Promotor la contratación de colaboraciones parciales de otros técnicos profesionales. ”
- Facilitar la colaboración necesaria para que se produzca la adecuada coordinación con los proyectos parciales exigibles por la legislación o la normativa vigente y que sea necesario incluir para el desarrollo adecuado del proceso, que deberán ser redactados por técnicos competentes, bajo su responsabilidad y suscritos por persona física. Los proyectos parciales serán aquellos redactados por otros técnicos cuya competencia puede ser distinta e incompatible con las competencias del Ingeniero y por tanto, de exclusiva responsabilidad de éstos. ”

- Elaborar aquellos proyectos parciales o estudios complementarios exigidos por la legislación vigente en los que es legalmente competente para su redacción, excepto declinación expresa del Ingeniero y previo acuerdo con el Promotor, pudiendo exigir la compensación económica en concepto de cesión de derechos de autor y de la propiedad intelectual si se tuviera que entregar a otros técnicos, igualmente competentes para realizar el trabajo, documentos o planos del proyecto por él redactado, en soporte papel o informático. ”
- Ostentar la propiedad intelectual de su trabajo, tanto de la documentación escrita como de los cálculos de cualquier tipo, así como de los planos contenidos en la totalidad del proyecto y cualquiera de sus documentos complementarios.

#### 2.4.3. El contratista

- Tener la capacitación profesional o titulación que habilita para el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor. ”
- Organizar los trabajos de construcción para cumplir con los plazos previstos, de acuerdo al correspondiente Plan de Obra, efectuando las instalaciones provisionales y disponiendo de los medios auxiliares necesarios. ”
- Comunicar a la autoridad laboral competente la apertura del centro de trabajo en la que incluirá el Plan de Seguridad y Salud al que se refiere el artículo 7 del R.D. 1627/97 de 24 de octubre. ”
- Adoptar todas las medidas preventivas que cumplan los preceptos en materia de Prevención de Riesgos laborales y Seguridad y Salud que establece la legislación vigente, redactando el correspondiente Plan de Seguridad y ajustándose al cumplimiento estricto y permanente de lo establecido en el Estudio de Seguridad y Salud, disponiendo de todos los medios necesarios y dotando al personal del equipamiento de seguridad exigibles, así como cumplir las órdenes efectuadas por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en la fase de Ejecución de la obra. ”

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Supervisar de manera continuada el cumplimiento de las normas de seguridad, tutelando las actividades de los trabajadores a su cargo y, en su caso, relevando de su puesto a todos aquellos que pudieran menoscabar las condiciones básicas de seguridad personales o generales, por no estar en las condiciones adecuadas.
- Facilitar la labor de la Dirección Facultativa, suscribiendo el Acta de Replanteo, ejecutando las obras con sujeción al Proyecto de Ejecución que deberá haber examinado previamente, a la legislación aplicable, a las Instrucciones del Ingeniero Director de Obra y del Director de la Ejecución Material de la Obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto. ”
- Disponer de los medios materiales y humanos que la naturaleza y entidad de la obra impongan, disponiendo del número adecuado de oficiales, suboficiales y peones que la obra requiera en cada momento, bien por personal propio o mediante subcontratistas al efecto, procediendo a solapar aquellos oficios en la obra que sean compatibles entre sí y que permitan acometer distintos trabajos a la vez sin provocar interferencias, contribuyendo con ello a la agilización y finalización de la obra dentro de los plazos previstos.
- Ordenar y disponer en cada momento de personal suficiente a su cargo para que efectúe las actuaciones pertinentes para ejecutar las obras con solvencia, diligentemente y sin interrupción, programándolas de manera coordinada con el Ingeniero o Ingeniero técnico, Director de Ejecución Material de la Obra. ”
- Supervisar personalmente y de manera continuada y completa la marcha de las obras, que deberán transcurrir sin dilación y con adecuado orden y concierto, así como responder directamente de los trabajos efectuados por sus trabajadores subordinados, exigiéndoles el continuo autocontrol de los trabajos que efectúen, y ordenando la modificación de todas aquellas tareas que se presenten mal efectuadas. ”
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales utilizados y elementos constructivos, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción facultativa del Director de la Ejecución de la obra, los suministros de material o prefabricados que no cuenten con las

garantías, documentación mínima exigible o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación, debiendo recabar de la Dirección Facultativa la información que necesite para cumplir adecuadamente su cometido. ”

- Dotar de material, maquinaria y utillajes adecuados a los operarios que intervengan en la obra, para efectuar adecuadamente las instalaciones necesarias y no menoscabar con la puesta en obra las características y naturaleza de los elementos constructivos que componen la instalación una vez finalizada. ”

- Efectuar las obras siguiendo los criterios al uso que son propios de la correcta construcción, que tiene la obligación de conocer y poner en práctica, así como de las leyes generales de los materiales o les artes, aun cuando estos criterios no estuvieran específicamente reseñados en su totalidad en la documentación de proyecto. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordina las tareas de los subcontratistas. ”

- Poner a disposición del Arquitecto Técnico o Aparejador los medios auxiliares y personal necesario para efectuar las pruebas pertinentes para el Control de Calidad, recabando de dicho técnico el plan a seguir en cuanto a las tomas de muestras, traslados, ensayos y demás actuaciones necesarias. ”

- Cuidar de que el personal de la obra guarde el debido respeto a la Dirección Facultativa. ”

- Auxiliar al Director de la Ejecución de la Obra en los actos de replanteo y firmar posteriormente y una vez finalizado éste, el acta correspondiente de inicio de obra, así como la de recepción final. ”

- Facilitar a los Arquitectos Directores de Obra, en el caso de que los hubiese, los datos necesarios para la elaboración de la documentación final de obra ejecutada. ”

- Ordenación de la Edificación y que, en función de su naturaleza, alcanzan períodos de 1 año (daños por defectos de terminación o acabado de las obras), 3 años (daños por defectos o vicios de elementos constructivos o de instalaciones

que afecten a la habitabilidad) o 10 años (daños en cimentación o estructura que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad de la instalación).

#### ”2.4.4. El Director de Obra ”

- Dirigir la obra coordinándola con el Proyecto de Ejecución, facilitando su interpretación técnica, económica y estética a los agentes intervinientes en el proceso constructivo. ”
- Detener la obra por causa grave y justificada, que se deberá hacer constar necesariamente en el Libro de Órdenes y Asistencias, dando cuenta inmediata al Promotor. ”
- Redactar las modificaciones, ajustes, rectificaciones o planos complementarios que se precisen para el adecuado desarrollo de las obras. Es facultad expresa y única la redacción de aquellas modificaciones o aclaraciones directamente relacionadas con la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectadas a las características geotécnicas del terreno; el cálculo o recalcado del dimensionado y armado de todos y cada uno de los elementos principales y complementarios de la cimentación y de la estructura vertical y horizontal; los que afecten sustancialmente a la distribución de espacios, así como la modificación de los materiales previstos.
- Asesorar al Director de la Ejecución de la Obra en aquellas aclaraciones y dudas que pudieran acontecer para el correcto desarrollo de la misma, en lo que respecta a las interpretaciones de las especificaciones de proyecto. ”
- Asistir a las obras a fin de resolver las contingencias que se produzcan para asegurar la correcta interpretación y ejecución del proyecto, así como impartir las soluciones aclaratorias que fueran necesarias, consignando en el Libro de Órdenes y Asistencias las instrucciones precisas que se estimara oportunas reseñar para la correcta interpretación de lo proyectado, sin perjuicio de efectuar todas las aclaraciones y órdenes verbales que estimare oportuno. ”
- Firmar el Acta de replanteo o de comienzo de obra y el Certificado Final de

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Obra, así como firmar el visto bueno de las certificaciones parciales referidas al porcentaje de obra efectuada y, en su caso y a instancias del Promotor, la supervisión de la documentación que se le presente relativa a las unidades de obra realmente ejecutadas previa a su liquidación final, todo ello con los visados que en su caso fueran preceptivos. ”

- Informar puntualmente al Promotor de aquellas modificaciones sustanciales que por razones técnicas o normativas, conllevan una variación de lo construido con respecto al proyecto básico y de ejecución y que afecten o puedan afectar al contrato suscrito entre el promotor y los destinatarios finales de la instalación. ”

- Redactar la documentación final de obra, en lo que respecta a la documentación gráfica y escrita del proyecto ejecutado, incorporando las modificaciones efectuadas. Para ello los técnicos redactores de proyectos y/o estudios complementarios deberán obligatoriamente entregarle la documentación final en la que se haga constar el estado final de las obras y/o instalaciones por ellos redactadas, supervisadas y realmente ejecutadas, siendo responsabilidad de los firmantes la veracidad y exactitud de los documentos presentados. Al Proyecto Final de Obra se anexará el Acta de Recepción Final; la relación identificativa de los agentes que han intervenido en el proceso de edificación, incluidos todos los ”subcontratistas y oficios intervinientes; las instrucciones de Uso y Mantenimiento de la instalación, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

Además de todas las facultades que corresponden al Arquitecto Director de Obra, expresadas en los artículos precedentes, es misión específica suya la dirección mediata, denominada alta dirección en lo que al cumplimiento de las directrices generales del proyecto se refiere, y a la adecuación de lo construido a éste. Cabe señalar expresamente que la resistencia al cumplimiento de las órdenes de los Arquitectos Directores de Obra en su labor de alta dirección se considerará como falta grave y, en caso de que, a su juicio, el incumplimiento de lo ordenado pusiera en peligro la obra o las personas que en ella trabajan, podrá recusar al Contratista y/o acudir a las autoridades judiciales, siendo responsable el Contratista de las consecuencias legales y económicas.

#### 2.4.5. El Director de la Ejecución de la Obra

Acontece al Ingeniero. Según se establece en el Artículo 13 de la LOE y demás legislación vigente al efecto las atribuciones competencias y obligaciones que se señalan a continuación:

- La Dirección inmediata de la Obra. ”
- Verificar personalmente la recepción a pie de obra, previo a su acopio o colocación definitiva, de todos los productos y materiales suministrados necesarios para la ejecución de la obra, comprobando que se ajustan con precisión a las determinaciones del proyecto y a las normas exigibles de calidad, con la plena potestad de aceptación o rechazo de los mismos en caso de que lo considerase oportuno y por causa justificada, ordenando la realización de pruebas y ensayos que fueran necesarios. ”
- Dirigir la ejecución material de la obra de acuerdo con las especificaciones de la memoria y de los planos del Proyecto, así como, en su caso, con las instrucciones complementarias necesarias que recabara del Director de Obra. ”
- Anticiparse con la antelación suficiente a las distintas fases de la puesta en obra, requiriendo las aclaraciones al Arquitecto o Arquitectos Directores de Obra, si aplica que fueran necesarias y planificando de manera anticipada y continuada con el Contratista principal y los subcontratistas los trabajos a efectuar. ”
- Comprobar los replanteos, los materiales, hormigones y demás productos suministrados, exigiendo la presentación de los oportunos certificados de idoneidad de los mismos. ”
- Verificar la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, extendiéndose dicho cometido a todos los elementos de cimentación y estructura horizontal y vertical, con comprobación de sus especificaciones concretas de dimensionado de elementos, tipos de viguetas y adecuación a ficha técnica homologada, diámetros nominales, longitudes de anclaje y adecuados solape y doblado de barras. ”

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Cumplimiento de todas las normativas que son de aplicación; a dimensiones parciales y totales de elementos, a su forma y geometría específica, así como a las distancias que deben guardarse entre ellos, tanto en horizontal como en vertical. ”
- Verificación de la adecuada puesta en obra de fábricas y cerramientos, a su correcta y completa trabazón y, en general, a lo que atañe a la ejecución material de la totalidad de la obra y sin excepción alguna, de acuerdo a los criterios y leyes de los materiales y de la correcta construcción y a las normativas de aplicación. ”
- Asistir a la obra con la frecuencia, dedicación y diligencia necesarias para cumplir eficazmente la debida supervisión de la ejecución de la misma en todas sus fases, desde el replanteo inicial hasta la total finalización del edificio, dando las órdenes precisas de ejecución al Contratista y, en su caso, a los subcontratistas. Consignar en el Libro de Órdenes y Asistencias las instrucciones precisas que considerara oportuno reseñar para la correcta ejecución material de las obras. ”
- Supervisar posteriormente el correcto cumplimiento de las órdenes previamente efectuadas y la adecuación de lo realmente ejecutado a lo ordenado previamente. ”
- Verificar el adecuado trazado de instalaciones, conductos, acometidas, redes de evacuación y su dimensionado, comprobando su idoneidad y ajuste tanto a las especificaciones del proyecto de ejecución como de los proyectos parciales, coordinando dichas actuaciones con los técnicos redactores correspondientes. ”
- Detener la Obra si, a su juicio, existiera causa grave y justificada, que se deberá hacer constar necesariamente en el Libro de Órdenes y Asistencias, dando cuenta inmediata a los Directores de Obra que deberán necesariamente corroborarla para su plena efectividad, y al Promotor.
- Supervisar las pruebas pertinentes para el Control de Calidad, respecto a lo especificado por la normativa vigente, en cuyo cometido y obligaciones tiene legalmente competencia exclusiva, programando bajo su responsabilidad y

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

debidamente coordinado y auxiliado por el Contratista, las tomas de muestras, traslados, ensayos y demás actuaciones necesarias de elementos estructurales, y la eficacia de las soluciones.

- Informar con prontitud a los Directores de Obra de los resultados de los Ensayos de Control conforme se vaya teniendo conocimiento de los mismos, proponiéndole la realización de pruebas complementarias en caso de resultados adversos.
- Tras la oportuna comprobación, emitir las certificaciones parciales o totales relativas a las unidades de obra realmente ejecutadas, con los visados que en su caso fueran preceptivos.
- Colaborar activa y positivamente con los restantes agentes intervinientes, sirviendo de nexo de unión entre éstos, el Contratista, los Subcontratistas y el personal de la obra.
- Elaborar y suscribir responsablemente la documentación final de obra relativa a los resultados del Control de Calidad y, en concreto, a aquellos ensayos y verificaciones de ejecución de obra realizados bajo su supervisión.
- Suscribir conjuntamente el Certificado Final de Obra, acreditando con ello su conformidad a la correcta ejecución de las obras y a la comprobación y verificación positiva de los ensayos y pruebas realizadas.

Si se hiciera caso omiso de las órdenes efectuadas por el Ingeniero, Director de la Ejecución de las Obras, se considerará como falta grave y, en caso de que, a su juicio, el incumplimiento de lo ordenado pusiera en peligro la obra o las personas que en ella trabajan, podrá acudir a las autoridades judiciales, siendo responsable el Contratista de las consecuencias legales y económicas.

### 2.4.6. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la instalación

- Prestar asistencia técnica y entregar los resultados de su actividad al agente

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

autor del encargo y, en todo caso, el director de la ejecución de las obras. ”

- Justificar la capacidad suficiente de medios materiales y humanos necesarios para realizar adecuadamente los trabajos contratados, en su caso, a través de la correspondiente acreditación oficial otorgada por las Comunidades Autónomas con competencia en la materia. ”

### 2.4.7. Los suministradores de productos

”

- Realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo de su origen, identidad y calidad, así como del cumplimiento de las exigencias que, en su caso, establezca la normativa técnica aplicable. ”

- Facilitar, cuando proceda, las instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para su inclusión en la documentación de la obra ejecutada. ”

### 2.4.8. Los propietarios y los usuarios

”

Son obligaciones de los propietarios conservar en buen estado la instalación mediante un adecuado uso y mantenimiento, así como recibir, conservar y transmitir la documentación de la obra ejecutada y los seguros y garantías con que ésta cuente. Son obligaciones de los usuarios sean o no propietarios, la utilización adecuada de la instalación o de parte de la misma de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento contenidas en la documentación de la obra ejecutada. ”

## 2.5. DOCUMENTACIÓN FINAL DE OBRA

Una vez finalizada la obra, el proyecto con la incorporación, en su caso, de las modificaciones debidamente aprobadas, será facilitado al promotor por el Director de Obra para la formalización de los correspondientes trámites administrativos.

A dicha documentación se adjuntará, al menos, el acta de recepción, la relación

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento de la instalación, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación

Toda la documentación a que hacen referencia los apartados anteriores, será entregada a los usuarios finales.

Son obligaciones de los propietarios conservar en buen estado la instalación mediante un adecuado uso y mantenimiento, así como recibir, conservar y transmitir la documentación de la obra ejecutada y los seguros y garantías con que ésta cuente.

Son obligaciones de los usuarios sean o no propietarios, la utilización adecuada de los edificios o de parte de los mismos de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento contenidas en la documentación de la obra ejecutada.

### 3. DISPOSICIONES ECONÓMICAS

#### 3.1 DEFINICIÓN

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, Promotor y Contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

#### 3.2 CONTRATO DE OBRA

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el Promotor y el Contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa (Director de Obra y Director de Ejecución de la Obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar en los términos pactados.

Sólo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación, o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, COORDINAR, DIRIGIR y CONTROLAR la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el Contratista. ”
- Condiciones de ocupación del edificio e inicio de las obras. ”
- Determinación de los gastos de enganches y consumos. ”
- Responsabilidades y obligaciones del Contratista: Legislación laboral. ”
- Responsabilidades y obligaciones del Promotor. ”
- Presupuesto del Contratista. ”

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Revisión de precios (en su caso). ”
- Forma de pago: Certificaciones. ”
- Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%). ”
- Plazos de ejecución: Planning. ”
- Retraso de la obra: Penalizaciones. ”
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva. ”
- Litigio entre las partes. ”Dado que este Pliego de Condiciones Económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la Dirección Facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente Pliego de Condiciones Económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra. ”

### 3.3 CRITERIO GENERAL ”

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.), tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

### 3.4 FIANZAS

El Contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra:

#### 3.4.1. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en nombre y representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo

#### 3.4.2. Devolución de las fianzas

La fianza recibida será devuelta al Contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El Promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

#### 3.4.3. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales

Si el Promotor, con la conformidad del Director de Obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

### 3.5 DE LOS PRECIOS

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Descompondremos el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, calcularemos el presupuesto.

### 3.5.1. Precio básico

Es el precio por unidad (Ud., m, kg, etc.) de un material dispuesto a pie de obra, (incluido su transporte a obra, descarga en obra, embalajes, etc.) o el precio por hora de la maquinaria y de la mano de obra.

### 3.5.2. Precio unitario

Es el precio de una unidad de obra que obtendremos como suma de los siguientes costes:

Costes directos: calculados como suma de los productos "precio básico x cantidad" de la mano de obra, maquinaria y materiales que intervienen en la ejecución de la unidad de obra.

Medios auxiliares: Costes directos complementarios, calculados en forma porcentual como porcentaje de otros componentes, debido a que representan los costes directos que intervienen en la ejecución de la unidad de obra y que son de difícil cuantificación. Son diferentes para cada unidad de obra.

Costes indirectos: aplicados como un porcentaje de la suma de los costes directos y medios auxiliares, igual para cada unidad de obra debido a que representan los costes de los factores necesarios para la ejecución de la obra que no se corresponden a ninguna unidad de obra en concreto.

En relación a la composición de los precios, el vigente Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas (Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre) establece que la composición y el cálculo de los precios de las distintas unidades de obra se base en la determinación de los costes directos e indirectos precisos para su ejecución, sin incorporar, en ningún caso, el importe del Impuesto sobre el Valor Añadido que pueda gravar las entregas de bienes o prestaciones de servicios realizados.

Considera costes directos:

- La mano de obra que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra. ”

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que quedan integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución. ”
- Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra. ”
- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria e instalaciones anteriormente citadas. ”Deben incluirse como costes indirectos: ”Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorio, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.

Todos estos gastos, excepto aquéllos que se reflejen en el presupuesto valorados en unidades de obra o en partidas alzadas, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos, igual para todas las unidades de obra, que adoptará, en cada caso, el autor del proyecto a la vista de la naturaleza de la obra proyectada, de la importancia de su presupuesto y de su previsible plazo de ejecución.

Las características técnicas de cada unidad de obra, en las que se incluyen todas las especificaciones necesarias para su correcta ejecución, se encuentran en el apartado de 'Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra.', junto a la descripción del proceso de ejecución de la unidad de obra.

Si en la descripción del proceso de ejecución de la unidad de obra no figurase alguna operación necesaria para su correcta ejecución, se entiende que está incluida en el precio de la unidad de obra, por lo que no supondrá cargo adicional o aumento de precio de la unidad de obra contratada.

Para mayor aclaración, se exponen algunas operaciones o trabajos, que se entiende que siempre forman parte del proceso de ejecución de las unidades de obra:

El transporte y movimiento vertical y horizontal de los materiales en obra, incluso carga y descarga de los camiones.

Eliminación de restos, limpieza final y retirada de residuos a vertedero de obra.  
Transporte de escombros sobrantes a vertedero autorizado.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Montaje, comprobación y puesta a punto.”Las correspondientes legalizaciones y permisos en instalaciones.

Maquinaria, andamiajes y medios auxiliares necesarios.

Trabajos que se considerarán siempre incluidos y para no ser reiterativos no se especifican en cada una de las unidades de obra.

### 3.5.3. Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen.

Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

### 3.5.4. Precios contradictorios

Sólo se producirán precios contradictorios cuando el Promotor, por medio del Director de Obra, decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista siempre estará obligado a efectuar los cambios indicados.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de Obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el contrato de obra o, en su defecto, antes de quince días hábiles desde que se le comunique fehacientemente al Director de Obra. Si subsiste la diferencia, se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto y, en segundo lugar, al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiese se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato de obra. Nunca se tomará para la valoración de los correspondientes precios contradictorios la fecha de la ejecución de la unidad de obra en cuestión.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

#### 3.5.5. Reclamación de aumento de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

#### 3.5.6. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres locales respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas. Se estará a lo previsto en el Presupuesto y en el criterio de medición en obra recogido en el Pliego.

#### 3.5.7. De la revisión de los precios contratados

El presupuesto presentado por el Contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios.

Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

#### 3.5.8. Acopio de materiales

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el Promotor ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el Contratista responsable de su guarda y conservación.

### 3.6 OBRAS POR ADMINISTRACIÓN

Se denominan "Obras por administración" aquellas en las que las gestiones que se

precisan para su realización las lleva directamente el Promotor, bien por sí mismo, por un representante suyo o por mediación de un Contratista.

### 3.7 VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS

#### 3.7.1. Forma y plazos de abono de las obras

Se realizará por certificaciones de obra y se recogerán las condiciones en el contrato de obra establecido entre las partes que intervienen (Promotor y Contratista) que, en definitiva, es el que tiene validez.

Los pagos se efectuarán por la propiedad en los plazos previamente establecidos el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el Director de Ejecución de la Obra, en virtud de las cuáles se verifican aquéllos.

El Director de Ejecución de la Obra realizará, en la forma y condiciones que establezca el criterio de medición en obra incorporado en las Prescripciones en cuanto a la Ejecución

- Responsabilidades del Contratista en la contratación por administración en por unidad de obra, la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el período de tiempo anterior, pudiendo el Contratista presenciar la realización de tales mediciones.

Para las obras o partes de obra que, por sus dimensiones y características, hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el contratista está obligado a avisar al Director de Ejecución de la Obra con la suficiente antelación, a fin de que éste pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que las definan, cuya conformidad suscribirá el Contratista.

A falta de aviso anticipado, cuya existencia corresponde probar al Contratista, queda éste obligado a aceptar las decisiones del Promotor sobre el particular.

### 3.7.2. Relaciones valoradas y certificaciones

En los plazos fijados en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista, éste último formulará una relación valorada de las obras ejecutadas durante las fechas previstas, según la medición practicada por el Director de Ejecución de la Obra.

Las certificaciones de obra serán el resultado de aplicar, a la cantidad de obra realmente ejecutada, los precios contratados de las unidades de obra. Sin embargo, los excesos de obra realizada en unidades, que sean imputables al Contratista, no serán objeto de certificación alguna.

Los pagos se efectuarán por el Promotor en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra, conformadas por la Dirección Facultativa. Tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la Liquidación Final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones parciales la aceptación, la aprobación, ni la recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. Si la Dirección Facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán a origen.

### 3.7.3. Mejora de obras libremente ejecutadas

Cuando el Contratista, incluso con la autorización del Director de Obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el proyecto o sustituyese una clase de fábrica por otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o, en general, introdujese en ésta y sin solicitársela, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio de la Dirección Facultativa, no tendrá derecho más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

#### 3.7.4. Abono de trabajos presupuestados con partida alzada

El abono de los trabajos presupuestados en partida alzada se efectuará previa justificación por parte del Contratista. Para ello, el Director de Obra indicará al Contratista, con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta.

#### 3.7.5. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Cuando fuese preciso efectuar cualquier tipo de trabajo de índole especial u ordinaria que, por no estar contratado, no sea de cuenta del Contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por la Propiedad por separado y en las condiciones que se estipulen en el contrato de obra.

#### 3.7.6. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Efectuada la recepción provisional, y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

- Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Director de obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en el presente Pliego de Condiciones, sin estar sujetos a revisión de precios.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Promotor, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.
- Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

### 3.8 INDEMNIZACIONES MUTUAS

#### 3.8.1. Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras

Si, por causas imputables al Contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el Promotor podrá imponer al Contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

#### 3.8.2. Demora de los pagos por parte del Promotor

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

### 3.9 VARIOS” “

#### 3.9.1. Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra

Sólo se admitirán mejoras de obra, en el caso que el Director de Obra haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como de los materiales y maquinaria previstos en el contrato.

Sólo se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, en el caso que el Director de Obra haya ordenado por escrito la ampliación de las contratadas como consecuencia de observar errores en las mediciones de proyecto.

En ambos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o maquinaria ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el Director de Obra introduzca innovaciones que supongan una reducción en los importes de las unidades de obra contratadas.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

### 3.9.2. Unidades de obra defectuosas

Las obras defectuosas no se valorarán.

### 3.9.3. Seguro de las obras

El contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

### 3.9.4. Conservación de la obra

El Contratista está obligado a conservar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

### 3.9.5. Uso por el Contratista de edificio o bienes del Promotor

No podrá el Contratista hacer uso de edificio o bienes del Promotor durante la ejecución de las obras sin el consentimiento del mismo.

Al abandonar el Contratista la instalación, tanto por buena terminación de las obras, como por resolución del contrato, está obligado a dejarlo en buen estado en el plazo que se estipule en el contrato de obra.

## 3.10 RETENCIONES EN CONCEPTO DE GARANTÍA

Del importe total de las certificaciones se descontará un porcentaje, que se retendrá en concepto de garantía. Este valor no deberá ser nunca menor del cinco por cien (5%) y responderá de los trabajos mal ejecutados y de los perjuicios que puedan ocasionarle al Promotor.

Esta retención en concepto de garantía quedará en poder del Promotor durante el tiempo designado como periodo de garantía, pudiendo ser dicha retención, "en metálico" o mediante un aval bancario que garantice el importe total de la retención.

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza retenida en concepto de garantía será devuelta al Contratista en el plazo estipulado en el contrato, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas atribuibles a la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros o subcontratos.

### 3.11 PLAZOS DE EJECUCIÓN: PLANNING DE OBRA

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un Planning de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes. Esto queda detallado en la memoria descriptiva, en el apartado de “Planificación”, por lo que se considerará que se ha aportado la información necesaria para su entendimiento.

### 3.12 LIQUIDACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el Promotor y el Contratista. En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, los manuales, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

obras, para lo cual será conformada por el Promotor, el Contratista, el Director de Obra y el Director de Ejecución de la Obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del Promotor.

La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

### 3.13 LIQUIDACIÓN FINAL DE LA OBRA

Entre el Promotor y Contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

## II. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

### 1. OBJETO

En este Pliego se establecen las prescripciones técnicas y particulares que, además de las cláusulas administrativas y económicas que regulan el correspondiente contrato, habrán de regir para la ejecución de las obras del presente proyecto “Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR”, emplazado en Castellón de la Plana.

Este presente Pliego prevalecerá sobre todos los demás documentos del Proyecto, incluso sobre el Pliego de Condiciones Técnicas Generales en caso de producirse discrepancias entre ellos.

## 2. DISPOSICIONES DE APLICACIÓN

En todo lo que no esté expresamente previsto en el presente Pliego ni se oponga a él serán de aplicación los siguientes documentos:

- Normas provisionales para la redacción de proyectos de Abastecimiento y Saneamiento de Poblaciones de la Dirección General de Obras Hidráulicas. ”
- Normas para la redacción de proyectos de Abastecimiento de agua y saneamiento de poblaciones. (En lo que modifiquen o complementen a las anteriores).

Así como todas aquellas normas que sean actualmente aplicables en la planta objetivo de la instalación de equipamiento de este proyecto, respetando así las normas que actualmente son de aplicación como norma prevalente.

### 3. MATERIALES” “

#### 3.1. MATERIALES EN GENERAL

Todos los materiales que hayan de emplearse en la ejecución de las obras deberán reunir las características mínimas indicadas en este Pliego y merecer la conformidad del Director de Obra.

El Director de Obra tiene la facultad de rechazar en cualquier momento aquellos materiales que considere no respondan a las condiciones del Pliego, o que sean inadecuados para el buen resultado de los trabajos.

Los materiales rechazados deberán retirarse de la obra, a cuenta del Contratista, dentro del plazo que señale su Director.

El Contratista notificará, con suficiente antelación, al Director de Obra la procedencia de los materiales, aportando las muestras y datos necesarios para determinar la posibilidad de su aceptación.

La aceptación de una procedencia o cantera, no anula el derecho del Director de Obra a rechazar aquellos materiales que, a su juicio, no respondan a las condiciones del Pliego, aún en el caso de que tales materiales estuvieran ya puestos en obra.

#### 3.2. TUBERÍAS” “

##### 3.2.1. Análisis y ensayos

Los tubos, piezas especiales y demás elementos de las tuberías podrán ser controlados por la Administración durante el período de su fabricación, para lo cual aquella nombrará un representante, que podrá asistir durante este período a las pruebas preceptivas a que deban ser sometidos dichos elementos de acuerdo con sus características normalizadas, comprobándose además sus dimensiones y pesos.

Independientemente de dichas pruebas, la Administración se reserva el derecho de realizar en la fábrica, por intermedio de sus representantes, cuantas verificaciones de fabricación y ensayos de materiales estime precisas para el control perfecto de las

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

diversas etapas de fabricación, según las prescripciones de este Pliego. A estos efectos, el Contratista, en el caso de no proceder por sí mismo a la fabricación de los tubos, deberá hacer constar este derecho de la Administración en su contrato, con el fabricante.

El fabricante avisará al Director de Obra, con quince días de antelación como mínimo, del comienzo de la fabricación en su caso, y de la fecha en que se propone efectuar las pruebas.

De resultado de los ensayos se levantará acta, firmada por el representante de la administración, el fabricante y el Contratista.

El Director de Obra, en caso de no asistir por sí o por delegación a las pruebas obligatorias en fábrica, podrá exigir al Contratista certificado de garantía de que se efectuaron, en forma satisfactoria, dichos ensayos.

El proveedor clasificará el material por lotes de 100 unidades o piezas que deberán probarse. Por cada lote de 100 o fracción de lote, si no se llegase en el pedido al número citado, se tomarán el menor número de unidades que permitan realizar la totalidad de los ensayos.

En primer lugar se realizarán las pruebas mecánicas y si los resultados son satisfactorios, se procederá a la realización de las pruebas de tipo hidráulico.

Clasificado el material por lotes, de acuerdo con lo que se establece en el párrafo anterior, las pruebas se efectuarán según se indica en el mismo apartado, sobre muestras tomadas de cada lote, de forma que los resultados que se obtengan se asignarán al total del lote.

Los tubos que no satisfagan las condiciones generales fijadas anteriormente así como las dimensiones y tolerancias definidas en este Pliego serán rechazados.

Cuando un tubo, elemento de tubo o junta no satisfaga una prueba se repetirá esta misma sobre dos muestras más del lote ensayado. Si también falla una de estas pruebas, se rechazará el lote ensayado, aceptándose así que el resultado de ambas es bueno.

La aceptación de un lote no excluye la obligación del contratista de efectuar los ensayos de tubería instalada que se indican en el Presente Pliego y reponer, a su costa, los tubos

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

o piezas que puedan sufrir deterioro o rotura durante el montaje o las pruebas en zanja.

Los gastos de ensayo son a cargo del Contratista, o en su caso, del fabricante los ensayos y pruebas obligatorias y los que con este carácter se indiquen en el Pliego tanto en fábrica como al recibir el material en obra y con la tubería instalada.

Será así mismo cuenta del Contratista aquellos otros ensayos y pruebas en fábrica o en obra que exija el Director de Obra si los resultados de los citados ensayos ocasionasen el rechazo del material.

Los ensayos y pruebas que haya que efectuar en los laboratorios oficiales, designados por la Administración como consecuencia de interpretaciones dudosas de los resultados de los ensayos realizados en fábrica o en la recepción del material en la obra serán abonados por el Contratista o por la Administración con cargo a la misma, si, como consecuencia de ellos, se rechazasen o se admitiesen, respectivamente, los elementos ensayados.

### 3.3 JUNTAS PARA TUBERIAS

Se entiende por junta el sistema de unión de dos tubos que asegure la estanqueidad, tanto a efectos de presión como exterior, y la mantenga en el tiempo, estimándose como solución indicada la unión mediante un aro de goma alojado adecuadamente entre los extremos de tubos lindantes.

El contratista suministrará a la Dirección de Obra:

- Justificación de la forma y rugosidad del alojamiento de la goma en cada uno de los dos extremos de los tubos que une.
- Justificación de la forma y características de la goma de modo que se garantice tanto la estanqueidad como que no se vayan a producir deformaciones en la parte más comprimida que se pueda hacer perder la estanqueidad en la parte más descomprimida.
- Justificación de que las características y composición de la goma sean idóneas para resistir Favorablemente la acción propia de aguas residuales domésticas, industriales o mezcla de ambas.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

- Detalle de todas las medidas geométricas de los alojamientos y de las gomas, así como sus tolerancias, que habrán de servir de base para el control de recepción.

Se comprende que todos los requisitos del proyecto de las juntas expuestos deban estar respaldados por una experimentación que sirva de garantía para la Dirección de Obra y sin la cual éste no pueda proceder a la adjudicación.

Dicha experiencia puede ser propia o del fabricante o basada en experiencias ajenas, incluso extranjeras, que puedan aportarse o también en normalizaciones vigentes en España o en otros países.

La información, normativa, etc., que se adjunta a la oferta deberá estar en español, francés o inglés.

### 3.4. MATERIALES NO ESPECIFICADOS

Los materiales cuyas características no estén especificadas en este Pliego ni en las disposiciones enumeradas, cumplirán las prescripciones de los Pliegos, Instrucciones o Normas aprobadas con carácter oficial en los casos en que dichos documentos sean aplicables, en todo caso se exigirán muestras de ensayos y certificados de garantía para su aprobación por la Dirección de Obra.

La Dirección de Obra podrá rechazar dichos materiales si no reúnen, a su juicio, las condiciones exigibles para conseguir debidamente el objeto que motivará su empleo y sin que el Contratista tenga derecho, en tal caso, a reclamación alguna.

### 3.5. COLUMNA DE ABSORCIÓN CA-1.

Siendo este equipo de construcción completamente autónoma por el servicio de obras contratista para el proyecto, será de interés en este pliego determinar ciertas características en cuanto al uso de los materiales en su construcción. Todas las partes de la columna han quedado seleccionadas y detalladas en la memoria descriptiva, por lo que el uso de algún material ajeno a esta selección deberá estar adecuadamente justificado por el contratista o constructor de la columna de absorción.

## 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESPECÍFICAS

### 4.1 COLUMNA DE ABSORCIÓN CA-1

En cuanto a la columna de absorción CA-1, dado que su montaje esta plenamente contemplado en el diseño de este proyecto, habiendo sido seleccionadas todas sus partes y con intención de que sea directamente ensamblada en el punto de instalación por el contratista, deberán especificarse ciertos factores.

- Serán en primer lugar los accesorios circulares del cilindro inferior los medidos y ensamblados. La operación consistirá en tomar medidas de su colocación y realizar agujeros a taladro de un máximo de 10 mm de grosor de broca. Se colocarán escuadras interiores, al menos 3 cada 15 cm lineales. El atornillado será externo con tuerca interna, usando arandela doble de goma para asegurar la estanqueidad de la columna.
- Después de la medida del cilindro inferior, se repetirá la operación con el cilindro superior.
- Una vez preparadas las bases de apoyo de los accesorios, se sueldan los fondos korboggen siendo el inferior el primero.
- Tras la soldadura del fondo inferior se sueldan ambos cilindros de acero entre si, asegurando que la soldadura queda hermética.
- Se colocan con un pescante los accesorios inferiores, y se monta el primer lecho de relleno.
- Se colocan los accesorios inferiores y se monta el segundo lecho de relleno.
- Se suelda finalmente el fondo korboggen superior.

### 4.2. RESTO DE EQUIPOS

El resto de equipos han quedado plenamente definidos en la memoria descriptiva, siendo sus fabricantes empresas externas con estrictas normas de calidad y construcción. Por ello, todo lo referente al montaje de estos, podrá consultarse con el proyectista a modo informativo, pero deberá ser en última instancia el propio fabricante

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

de cada equipo el encargado de proporcionar las herramientas necesarias para la puesta en marcha del equipo en la instalación.

Así, todos los equipos no fabricados *in situ* en la propia planta por el contratista con las instrucciones del proyectista, deberán estar definidos externamente por sus fabricantes, siendo los encargados de su montaje o en casos alternos, de que su montaje sea sencillo para el contratista.

## 5. MAQUINARIA

La empresa constructora deberá disponer de los medios mecánicos precisos, con personal idóneo para la ejecución de los trabajos incluidos en el Proyecto, incluyendo en su oferta la maquinaria y personal que va a disponer para la ejecución de la obra.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en todo momento, en perfectas condiciones de funcionamiento y quedarán adscritos a la obra durante el curso de ejecución de las unidades en que deban utilizarse, no pudiendo retirarlas sin el consentimiento del Director de Obra.

## 6. EJECUCIÓN, CONTROL Y ABONO DE LAS OBRAS

### 6.1. CONDICIONES GENERALES

Todas las obras comprendidas en el Proyecto se efectuarán de acuerdo con las especificaciones del presente Pliego, los planos del Proyecto y las Instrucciones del Director de Obra, quien resolverá además, las cuestiones que se plantean referentes a la interpretación de aquellos y a las condiciones de ejecución.

El Director de Obra suministrará al Contratista cuanta información se precise para que las obras puedan ser realizadas.

El orden de ejecución de los trabajos deberá ser aprobado por el Director de Obra y será compatible con los plazos de programación.

Antes de iniciar cualquier trabajo deberá el Contratista ponerlo en conocimiento del Director de Obra, y recabar su autorización.

En los artículos correspondientes del presente Capítulo se especifican a título orientativo, el tipo y número de ensayos a realizar de forma sistemática durante la ejecución de la obra para controlar la calidad de los trabajos. Se entiende que el número fijado de ensayos es mínimo y que en el caso de indicarse varios criterios para determinar su frecuencia, se tomará aquel que exija una frecuencia mayor.

El Director de Obra podrá modificar la frecuencia y tipo de dichos ensayos con objeto de conseguir el adecuado control de la calidad de los trabajos.

El Contratista suministrará, a su costa, todos los materiales, que hayan de ser ensayados, y dará las facilidades necesarias para ello.

El Director de Obra o sus representantes tendrán acceso a cualquier parte del proceso de ejecución de las obras, incluso en las que se realicen fuera del área propia de construcción, así como a las instalaciones auxiliares de cualquier tipo, y el Contratista dará toda clase de facilidades para la Inspección de las mismas.

En los precios se entiende comprendido un 1% sobre la ejecución material destinado a satisfacer los gastos de ensayos y análisis. Dicho 1% será el tope máximo de coste a

## Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

cargo del Contratista salvo en los casos siguientes:

- a) Si como consecuencia de los ensayos el suministro, material o unidad de obra es rechazada.
- b) Si se trata de ensayos propuestos por el Contratista sobre suministros materiales o unidades de obra que han sido realizados en los ensayos efectuados por la Dirección de Obra.

### 6.2. CARGA Y TRANSPORTE DE ESCOMBROS A VERTEDERO

#### 6.2.1. Ejecución de las obras

Las operaciones de carga, transporte y descarga a vertedero se realizarán con las precauciones precisas con el fin de evitar proyecciones, desprendimientos de polvo, barro, etc.

El Contratista tomará las medidas para evitar que los vehículos que abandonen la zona de obra depositen restos de tierra, barro, etc.

#### 6.2.2. Medición y abono

Esta unidad se abonará por aplicación del precio correspondiente del cuadro de precios a los metros cúbicos realmente transportados medidos sobre camión.

### 6.3 CARTELES DE OBRA

Los carteles de obra dispondrán de elementos de sustentación de acero galvanizado, que se empotrarán en el suelo mediante obras de cimentación con hormigón en masa.

El Contratista se atenderá a lo que disponga la Dirección de Obra en cuanto a textos y anagramas.

### 6.4. UNIDADES NO ESPECIFICADAS

Aquellas unidades de obra que no estuviesen incluidas o aquellos trabajos que no

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

apareciesen especificados en el Pliego, se ajustarán de acuerdo con lo sancionado por la experiencia como reglas de buena construcción o ejecución, debiendo seguir el Contratista escrupulosamente las normas especiales, que, para cada caso, señale el Director de la Obra, según su inapelable juicio.

Estas unidades serán abonadas según su definición en el Cuadro de Precios o, en su caso, mediante la reducción del correspondiente precio contradictorio siguiendo las especificaciones del Pliego de Condiciones Técnicas Generales

## 6. ESTADO DE MEDICIONES

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## ÍNDICE DEL ESTADO DE MEDICIONES:

<b>1.</b>	<b>ESTADO DE MEDICIONES .....</b>	<b>4</b>
1.1	PARTIDA 1: EQUIPOS.....	5
1.2	PARTIDA 2: CONDUCCIONES Y ACCESORIOS .....	6
1.3	PARTIDA 3: OBRA CIVIL E INSTALACIONES.....	7
1.4	PARTIDA 4: GESTIÓN DE RESIDUOS DE OBRA .....	7
1.5	PARTIDA 5: PRUEBAS TÉCNICAS DE FUNCIONAMIENTO .....	8

## 1. ESTADO DE MEDICIONES

El estado de mediciones supone en si mismo el documento básico que servirá de pilar principal para la elaboración del presupuesto final de presente proyecto. Con su propia entidad existente, este documento determinará el número de desglose en partidas necesario para la elaboración del presupuesto con mayor facilidad y entendimiento.

Así, se determinarán tanto las partidas como las unidades que compondrán cada una de estas, lo que permitirá redactar el presupuesto con mayor orden.

En total, componen este proyecto un total de 5 partidas:

- Equipos
- Conducciones y accesorios
- Obra civil e instalaciones
- Gestión de residuos de obra
- Pruebas técnicas de funcionamiento

## 1.1 PARTIDA 1: EQUIPOS

**Tabla EM1. Partida 1.**

Elemento		Unidad	Cantidad
Columna de relleno CA-1	Cilindro estándar a medida de acero inoxidable austenítico AISI-304 1.4301 de Bachiller.	Ud.	2
	Fondo toriesférico en acero inoxidable F-4 80-15 de Foncalp, S.L.	Ud.	2
	Distribuidor de líquido TDP 410 de Enxio GEA.	Ud.	1
	Redistribuidor de líquido TCI DN1000 de TCI Industries.	Ud.	1
	Distribuidor de gas modelo estándar a medida de RVT Process Equipment GmbH.	Ud.	1
	Reja de soporte modelo estándar a medida de RVT Process Equipment GmbH.	Ud.	2
	Eliminador de niebla modelo estándar a medida de Anping Hualai Metal Wire.	Ud.	1
	Relleno de columna anillo Pall en PP DN=15,9mm de Besora.	m <sup>3</sup>	4,38
Intercambiador de calor de carcasa y tubos modelo CTF B-Series de Kinam Industries.		Ud.	1
Intercambiador de calor de tubos concéntricos modelo X-Tube Monotube de Kinam Industries.		Ud.	1
Columna de regeneración de amina, de platos, modelo estándar a medida, en acero inoxidable austenítico AISI-304 1.4301 de Bachiller		Ud.	1
Bomba centrífuga modelo CR 1s-3 de Grundfos, en acero inoxidable y fundición EN GJL200, un peso de 23 kg y una potencia nominal de 370 W.		Ud.	1
Compresor centrífugo modelo N 936.3 ANE de KNF, en aluminio y acero inoxidable, un peso de 5,2 kg y una potencia nominal de 190 W.		Ud.	1
Dietanolamina al 99% para síntesis, en envase plástico hermético de 10 l, de Care Roth International.		Ud.	10

## 1.2 PARTIDA 2: CONDUCCIONES Y ACCESORIOS

**Tabla EM2. Partida 2.**

Elemento	Unidad	Cantidad
Tubería de acero al carbono A106, DN=100 mm, espesor 6,02 mm de Vemacero.	m	24,43
Tubería de acero al carbono A106, DN=15 mm, espesor 2,77 mm de Vemacero.	m	20,64
Codo de 90° de gran curvatura, de radio corto, código ASME B16.9 de acero al carbono y DN=100 mm. De Tubasol, S.A.	Ud.	4
Codo de 90° estándar, de radio largo, código ASME B16.9 de acero al carbono y DN=15 mm. De Tubasol, S.A.	Ud.	8
Reducción de DN=150 mm a DN=100 mm, modelo forma 2, en acero al carbono. De Tubasol, S.A.	Ud.	1
Válvula de retención de hierro con cierre en acero inoxidable. DN=100 mm, modelo AA 02 139 de Salvador Escoda, S.A.	Ud.	2
Válvula de retención de hierro con cierre en acero inoxidable. DN=15 mm, modelo AA 02 131 de Salvador Escoda, S.A.	Ud.	2
Manguera de alimentación de agua corriente al intercambiador ICC, en caucho sintético negro y DN=75 mm. Modelo IGJ075 de Gassó.	m	7

### 1.3 PARTIDA 3: OBRA CIVIL E INSTALACIONES

**Tabla EM3. Partida 3.**

Elemento	Unidad	Cantidad
Obra civil e instalaciones, incluyendo: -Adecuación del terreno -Instalación eléctrica y de alumbrado -Instalación de fontanería -Saneamiento -Montaje de equipos	m <sup>2</sup>	50

### 1.4 PARTIDA 4: GESTIÓN DE RESIDUOS DE OBRA

**Tabla EM4. Partida 4.**

Elemento	Unidad	Cantidad (*)
Gestión de los residuos de obra y acondicionamiento	%	3

(\*) Se considera un porcentaje con respecto al total de la partida de obra civil e instalaciones.

## 1.5 PARTIDA 5: PRUEBAS TÉCNICAS DE FUNCIONAMIENTO

**Tabla EM5. Partida 5.**

Elemento	Unidad	Cantidad (*)
Prueba de funcionamiento columna CA-1. Incluyendo prueba de inundación de la columna, control de puntos calientes, posibles fugas en la envolvente, pruebas en los puntos de introducción y salidas del fluido con caudalímetro.	%	1
Prueba de funcionamiento del intercambiador de calor IC-AA. Incluye pruebas térmicas en las entradas y salidas del intercambiador, así como prueba barométrica de los fluidos en flujo continuo.	%	1
Prueba de funcionamiento del intercambiador de calor ICC. Incluye pruebas térmicas en las entradas y salidas del intercambiador. Incluye una prueba con caudalímetro en la entrada de agua corriente	%	1
Prueba de funcionamiento de la columna regeneradora CRG-1. Incluye análisis de composición en la salida de la solución de amina regenerada.	%	0,1
Prueba de funcionamiento de la bomba centrífuga del tramo 4 de conducciones. La prueba incluye análisis del consumo de potencia, análisis del caudal propulsado	%	1
Prueba de funcionamiento del compresor centrífugo del tramo 3 de conducciones. La prueba incluye análisis del consumo de potencia, así como comprobación barométrica en el extremo del tramo 3 para comprobar la efectividad calculada.	%	1
Pruebas técnicas antifugas entre conducciones, equipos y accesorios de conducciones soldados o encajados, para comprobar hermetismo de los tramos que transportan solución de amina, tanto rica como regenerada.	%	1
Pruebas técnicas antifugas entre conducciones, equipos y accesorios de conducciones soldados o encajados, para comprobar hermetismo de los tramos que transportan biogás, tanto sulfurado como desulfurado.	%	1

(\*) El porcentaje de cada prueba de funcionamiento hace referencia a un porcentaje del total presupuestado para el equipo en cuestión de la susodicha prueba de funcionamiento. Para la columna CRG-1 se considera un porcentaje menor por ser un equipo íntegramente diseñado por una empresa externa, teniendo en cuenta que dicha empresa aplicará los estándares de calidad pertinentes, y solo será necesaria una comprobación analítica sencilla.

## 7. PRESUPUESTO

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

## ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

<b>1.</b>	<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM).....</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b>	<b>PEM PARCIAL.....</b>	<b>4</b>
1.1.1	Partida 1: Equipos.....	5
1.1.2	Partida 2: Conducciones y accesorios.....	6
1.1.3	Partida 3: Obra civil e instalaciones.....	7
1.1.4	Partida 4: Gestión de residuos de obra.....	7
1.1.5	Partida 5: Pruebas técnicas de funcionamiento.....	8
1.1.6	Otras consideraciones.....	9
<b>1.2</b>	<b>PEM TOTAL.....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) Y PRESUPUESTO TOTAL... </b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b>CONSIDERACIÓN ESPECIAL: INSTALACIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE.....</b>	<b>12</b>

## 1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM).

El presupuesto de ejecución de material (PEM), supone en sí, el presupuesto de construcción del proyecto, es decir, el presupuesto de su ejecución material. El presupuesto del proyecto “*Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR*” estará compuesto por un total de 5 partidas presupuestarias, una sexta complementaria relativa a los gastos de mano de obra y un último subapartado que considere la instalación de la pila de combustible como método de valorización energética del biogás.

### 1.1 PEM PARCIAL

El PEM parcial supone el desglose de todas las partidas presupuestarias que compondrán el PEM total. Las partidas presupuestarias serán desglosadas individualmente con la mayor exactitud posible, tomando como base el estado de mediciones expuesto anteriormente.

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

1.1.1 Partida 1: Equipos

PARTIDA PRESUPUESTARIA N°1. COD.PARTIDA: P1-001.				
Elemento	Unidad	Cantidad	P. unitario (€/unidad)	P. total (€)
Cilindro estándar a medida de acero inoxidable austenítico AISI-304 1.4301 de Bachiller.	Ud.	2	15000	30000
Fondo toriesférico en acero inoxidable F-4 80-15 de Foncalp, S.L.	Ud.	2	2500	5000
Distribuidor de líquido TDP 410 de Enexio GEA.	Ud.	1	5000	5000
Redistribuidor de líquido TCI DN1000 de TCI Industries.	Ud.	1	3500	3500
Distribuidor de gas modelo estándar a medida de RVT Process Equipment GmbH.	Ud.	1	5000	5000
Reja de soporte modelo estándar a medida de RVT Process Equipment GmbH.	Ud.	2	1500	3000
Eliminador de niebla modelo estándar a medida de Anping Hualai Metal Wire.	Ud.	1	1000	1000
Relleno de columna anillo Pall en PP DN=15,9mm de Besora.	m <sup>3</sup>	4,38	400	1752
Intercambiador de calor de carcasa y tubos modelo CTF B-Series de Kinam Industries.	Ud.	1	50000	50000
Intercambiador de calor de tubos concéntricos modelo X-Tube Monotube de Kinam Industries.	Ud.	1	25000	25000
Columna de regeneración de amina, de platos, modelo estándar a medida, en acero inoxidable austenítico AISI-304 1.4301 de Bachiller	Ud.	1	350000	350000
Bomba centrífuga modelo CR 1s-3 de Grundfos, en acero inoxidable y fundición EN GJL200, un peso de 23 kg y una potencia nominal de 370 W.	Ud.	1	5500	5500
Compresor centrífugo modelo N 936.3 ANE de KNF, en aluminio y acero inoxidable, un peso de 5,2 kg y una potencia nominal de 190 W.	Ud.	1	3000	3000
Dietanolamina al 99% para síntesis, en envase plástico hermético de 10 l, de Care Roth International.	Ud.	10	181,70	1817
<b>TOTAL PARTIDA PRESUPUESTARIA N°1</b>			<b>489569,00 €</b>	

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

1.1.2 Partida 2: Conducciones y accesorios

PARTIDA PRESUPUESTARIA N°2. COD. PARTIDA: P2-002.				
Elemento	Unidad	Cantidad	P. unitario (€/unidad)	P. total (€)
Tubería de acero al carbono A106, DN=100 mm, espesor 6,02 mm de Vemacero.	m	24,43	14,50	354,23
Tubería de acero al carbono A106, DN=15 mm, espesor 2,77 mm de Vemacero.	m	20,64	12	247,68
Codo de 90° de gran curvatura, de radio corto, código ASME B16.9 de acero al carbono y DN=100 mm. De Tubasol, S.A.	Ud.	4	16,50	66
Codo de 90° estándar, de radio largo, código ASME B16.9 de acero al carbono y DN=15 mm. De Tubasol, S.A.	Ud.	8	12,50	100
Reducción de DN=150 mm a DN=100 mm, modelo forma 2, en acero al carbono. De Tubasol, S.A.	Ud.	1	11,50	11,50
Válvula de retención de hierro con cierre en acero inoxidable. DN=100 mm, modelo AA 02 139 de Salvador Escoda, S.A.	Ud.	2	436,15	872,3
Válvula de retención de hierro con cierre en acero inoxidable. DN=15 mm, modelo AA 02 131 de Salvador Escoda, S.A.	Ud.	2	94,30	188,6
Manguera de alimentación de agua corriente al intercambiador ICC, en caucho sintético negro y DN=75 mm. Modelo IGJ075 de Gassó.	m	7	4,5	31,5
<b>TOTAL PARTIDA PRESUPUESTARIA N°2</b>			<b>1871,81 €</b>	

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

1.1.3 Partida 3: Obra civil e instalaciones

El proyecto se emplaza en una EDAR que ya está en pleno funcionamiento actualmente, es decir, no se necesita una adecuación del terreno, la mayoría de instalaciones eléctricas, de fontanería y desagüe están adecuadas, por lo que se va a considerar un precio por m<sup>2</sup> conservador, que tenga en cuenta el coste de adecuar esas instalaciones a la nueva instalación. Este ratio se obtiene de los datos presupuestarios del Colegio de Ingenieros Técnicos Industriales de la Comunidad Valenciana (COGITI).

PARTIDA PRESUPUESTARIA N°3. COD. PARTIDA: P3-003				
Elemento	Unidad	Cantidad	P. Unitario (€/unidad)	P. total (€)
Obra civil e instalaciones, incluyendo:				
-Instalación eléctrica y de alumbrado				
-Instalación de fontanería	m <sup>2</sup>	50	250	12500
-Saneamiento				
-Antiincendios				
-Cartelería y señalización				
TOTAL PARTIDA PRESUPUESTARIA N°3			12500,00 €	

1.1.4 Partida 4: Gestión de residuos de obra

PARTIDA PRESUPUESTARIA N°4. COD. PARTIDA: P4-004			
Elemento	Unidad	Cantidad (*)	Total (€)
Gestión de los residuos de obra y acondicionamiento	%	3	375
(*)Se considera un porcentaje con respecto al total de la partida de obra civil e instalaciones.			
TOTAL PARTIDA PRESUPUESTARIA N°4			375,00 €

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

1.1.5 Partida 5: Pruebas técnicas de funcionamiento

PARTIDA PRESUPUESTARIA N°5. COD. PARTIDA: P5-005			
Elemento	Unidad	Cantidad (*)	Total (€)
Prueba de funcionamiento columna CA-1. Incluyendo prueba de inundación de la columna, control de puntos calientes, posibles fugas en la envolvente, pruebas en los puntos de introducción y salidas del fluido con caudalímetro.	%	1	542,52
Prueba de funcionamiento del intercambiador de calor IC-AA. Incluye pruebas térmicas en las entradas y salidas del intercambiador, así como prueba barométrica de los fluidos en flujo continuo.	%	1	500
Prueba de funcionamiento del intercambiador de calor ICC. Incluye pruebas térmicas en las entradas y salidas del intercambiador. Incluye una prueba con caudalímetro en la entrada de agua corriente	%	1	250
Prueba de funcionamiento de la columna regeneradora CRG-1. Incluye análisis de composición en la salida de la solución de amina regenerada.	%	0,1	350
Prueba de funcionamiento de la bomba centrífuga del tramo 4 de conducciones. La prueba incluye análisis del consumo de potencia, análisis del caudal propulsado.	%	1	55
Prueba de funcionamiento del compresor centrífugo del tramo 3 de conducciones. La prueba incluye análisis del consumo de potencia, así como comprobación barométrica en el extremo del tramo 3 para comprobar la efectividad calculada.	%	1	30
Pruebas técnicas antifugas entre conducciones, equipos y accesorios de conducciones soldados o encajados, para comprobar hermetismo de los tramos que transportan solución de amina, tanto rica como regenerada.	%	1	5,36
Pruebas técnicas antifugas entre conducciones, equipos y accesorios de conducciones soldados o encajados, para comprobar hermetismo de los tramos que transportan biogás, tanto sulfurado como desulfurado.	%	1	13,04
(*) El porcentaje de cada prueba de funcionamiento hace referencia a un porcentaje del total presupuestado para el equipo en cuestión de la susodicha prueba de funcionamiento.			
<b>TOTAL PARTIDA PRESUPUESTARIA N°5</b>			<b>1745,92 €</b>

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

1.1.6 Otras consideraciones

Además de las partidas detalladas en el estado de mediciones, es importante tener otros aspectos en cuenta para el presupuesto. La mano de obra supondrá también un gasto relevante en la ejecución material del proyecto, por lo que se establece una última partida presupuestaria para tenerla en consideración.

Los valores porcentuales que supone la mano de obra se establece según los colegios de Ingenieros Industriales entre un 12% y un 20% del PEM parcial referente a los equipos, por lo que se tomará un valor medio del 15% para este cálculo.

PARTIDA PRESUPUESTARIA N°6. COD. PARTIDA: P6-006			
Elemento	Unidad	Cantidad (*)	Total (€)
Mano de obra	%	15	73435,35
(*)El porcentaje hace referencia al total de la Partida 1 (COD: P1-001).			
TOTAL PARTIDA PRESUPUESTARIA N°6			73435,35 €

## 1.2 PEM TOTAL

Una vez definidas todas las partidas, puede obtenerse así el PEM total del proyecto.

PEM TOTAL PRESUPUESTADO	
Partida	Total (€)
Partida 1: Equipos	489569,00
Partida 2: Conducciones y accesorios	1871,81
Partida 3: Obra civil e instalaciones	12500,00
Partida 4: Gestión de residuos de obra	375,00
Partida 5: Pruebas técnicas de funcionamiento	1745,92
Partida 6: Mano de obra	73435,35
<b>TOTAL PEM</b>	<b>579497,08€</b>

## 2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) Y PRESUPUESTO TOTAL.

Una vez se ha presupuestado todo, todas las partidas están definidas y se ha obtenido el PEM, se puede calcular el presupuesto de ejecución de contrata, en el que sobre el PEM se tendrán en cuenta además un porcentaje para gastos generales (GG, fijado habitualmente en un 13%) y un porcentaje para el beneficio industrial (BI, fijado habitualmente en un 6%).

PEC (ANTES DE IVA)	
Elemento	Total (€)
PEM	579497,08
Gastos generales (13% del PEM)	75334,62
Beneficio Industrial (6% del PEM)	34769,82
<b>TOTAL PEC</b>	<b>689601,52 €</b>

Y una vez obtenido el Presupuesto de ejecución por contrata, se puede obtener finalmente el presupuesto total, que supondría la aplicación del IVA al PEC ya calculado.

PRESUPUESTO TOTAL (PT)	
Elemento	Total (€)
PEC antes de IVA	689601,52
IVA (21%)	144816,31
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>834417,83 €</b>

### 3. CONSIDERACIÓN ESPECIAL: INSTALACIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE.

Como se ha comentado en repetidas ocasiones durante el proyecto, el gran incentivo de este diseño es la aplicación de un nuevo sistema de valorización energética en la EDAR de Castellón de la Plana, basado en un *stack* de pilas de combustible de carbonatos fundidos para generar energía eléctrica. Por ello, se va a considerar un Presupuesto Total secundario, para poder valorar la posible viabilidad económica de la instalación de la pila de combustible, aun sin ser parte implícita del proyecto. Es importante remarcar que este presupuesto secundario no tiene un valor de aplicación real, y que solo sirve como un extra de información para valorar el sistema.

Así, la instalación de la pila de combustible cambiaría las siguientes partidas:

- Partida 1: Equipos
- Partida 5: Pruebas técnicas de funcionamiento
- Partida 6: Mano de obra

Por tanto, se exponen a continuación las partidas secundarias modificadas, así como el correspondiente PEM, PEC y PT en este subcaso.

PARTIDA PRESUPUESTARIA Nº1 (MODIFICACIÓN PC)	
Elemento	Total (€)
Partida 1: Equipos (Original)	489569,00
Pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC) modelo Sure Source 1500 de Fuel Cell Energy, con 1400 kW de potencia	700000
<b>TOTAL PARTIDA Nº1 (Modificada)</b>	<b>1.189.569,00 €</b>

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

PARTIDA PRESUPUESTARIA N°5 (MODIFICACIÓN PC)	
Elemento	Total (€)
Partida 5: Pruebas técnicas de funcionamiento (Original)	1745,92
Prueba de funcionamiento de la pila de combustible MCFC comprobando que admite adecuadamente el biogás y que se genera una corriente de energía eléctrica alterna adecuada a las especificaciones técnicas del modelo adquirido.	700
<b>TOTAL PARTIDA N°5 (Modificada)</b>	<b>2445,92 €</b>

PARTIDA PRESUPUESTARIA N°6. (MODIFICACIÓN PC)			
Elemento	Unidad	Cantidad (*)	Total (€)
Mano de obra	%	15	178435,35
(*)El porcentaje hace referencia al total de la Partida 1 (Modificada)			
<b>TOTAL PARTIDA N°6 (Modificada)</b>			<b>178435,35 €</b>

Así puede obtenerse el PEM modificado para este subcaso:

PEM TOTAL PRESUPUESTADO (Modificación PC)	
Partida	Total (€)
Partida 1: Equipos	1.189.569,00
Partida 2: Conducciones y accesorios	1871,81
Partida 3: Obra civil e instalaciones	12500,00
Partida 4: Gestión de residuos de obra	375,00
Partida 5: Pruebas técnicas de funcionamiento	2445,92
Partida 6: Mano de obra	178435,35
<b>TOTAL PEM</b>	<b>1.385.197,08 €</b>

Diseño de un sistema de desulfuración de biogás con dietanolamina para su valorización energética en una EDAR.

Una vez se obtiene el PEM modificado, se puede obtener el PEC antes de IVA y por último el presupuesto total (PT).

PEC (ANTES DE IVA) (Modificado)	
Elemento	Total (€)
PEM (Modificado)	1.385.197,08
Gastos generales (13% del PEM)	180.075,62
Beneficio Industrial (6% del PEM)	83.111,82
<b>TOTAL PEC Modificado</b>	<b>1.648.384,52 €</b>

PRESUPUESTO TOTAL (PT) (Modificado)	
Elemento	Total (€)
PEC antes de IVA	1.648.384,52
IVA (21%)	346.160,74
<b>TOTAL PRESUPUESTO Modificado</b>	<b>1.994.545,26 €</b>

Queda así definido un marco de inversión inicial para poder valorar (solo a modo informativo) lo que supondría la instalación del equipo de valorización energética por pila de combustible de carbonatos fundidos.