



Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals

Grau en Enginyeria Química

***Diseño de un sistema de absorción de
CO₂ del biogás para obtener biometano
para uso vehicular***

Trabajo Fin de Grado

Autor/a

Florentina Cristina Nita

Tutor/a

María de la Luz Barrera Traver

Castellón, Octubre de 2021

Me gustaría agradecer a varias personas todo lo que me han aportado a lo largo de estos años de mi carrera académica y la ayuda que he recibido para realizar el Proyecto Fin de Grado.

En primer lugar, agradecer todo el apoyo a mi familia, en especial a mi madre, mi padre y mi hermana por animarme a seguir adelante.

A mi pareja, Daniel, por ser mi apoyo incondicional y remar conmigo en la misma dirección.

A todos esos compañeros con los que he compartido risas, tensión, decepciones y alegrías. En especial a Sergio, por haber sido mi fiel compañero de trabajo que se ha desvivido por lo que hacíamos.

Y, por último, pero no menos importante, a Malú, mi tutora, por toda la paciencia y toda la ayuda que me has brindado y, por supuesto, a todos los profesores del grado por haber contribuido en mi aprendizaje.

0. RESUMEN

En el presente proyecto se expone el diseño y la viabilidad económica de un sistema de absorción-desabsorción de CO₂ contenido en un biogás procedente de la digestión anaerobia de los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de obtener biometano apto para uso como combustible vehicular.

El biogás ha sido tratado previamente para ser apto como combustible en un motor de cogeneración, sin embargo, para ser empleado en la red de transporte ha de eliminarse el CO₂ presente en la corriente y obtener una concentración en CH₄ superior al 90%. Las ventajas de utilizar el biometano como combustible vehicular, además de obtenerse una fuente renovable, es la reducción de toneladas de emisiones de CO₂ y también de los NO_x, SO_x y las partículas frente a los combustibles convencionales, considerándose indispensable en la transición energética que plantea la Comisión Europea en su hoja de ruta hacia la descarbonización.

En consecuencia, para realizar el diseño de la instalación se evaluarán las distintas tecnologías existentes en el mercado del lavado de gases y se seleccionará la mejor opción priorizando una alta eficacia y rentabilidad y el mínimo impacto ambiental. Para este proyecto, se ha optado por una columna de relleno con capacidad de 2.400 m³ /h de biogás y una segunda columna de regeneración del absorbente mediante aportación de calor. Tras obtener el biocombustible, se acondiciona y se distribuye a las distintas gasineras.

Por último, se incluirá un presupuesto detallado de inversión y explotación junto con la viabilidad económica, punto clave para determinar la rentabilidad del proyecto.

1. ÍNDICE GENERAL

0. RESUMEN
 1. ÍNDICE GENERAL
 2. MEMORIA
 3. ANEXOS
 4. PLANOS
 5. PLIEGO DE CONDICIONES
 6. ESTADO DE MEDICIONES
 7. PRESUPUESTO
-

2. MEMORIA

ÍNDICE

1.	OBJETIVO.....	1
2.	ALCANCE.....	2
3.	UNIDADES Y SÍMBOLOS.....	3
3.1	UNIDADES.....	3
3.2	SÍMBOLOS.....	4
4.	NORMAS Y REFERENCIAS	7
4.1	DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS	7
4.2	BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA	8
4.3	PROGRAMAS INFORMÁTICOS.....	10
5.	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	11
5.1	DEFINICIONES.....	11
5.2	ABREVIATURAS.....	11
6.	ANTECEDENTES	13
6.1	BIOGÁS Y BIOMETANO	13
6.2	TRATAMIENTO DE UNA EDAR.....	16
6.2.1	LÍNEA DE AGUAS.....	16
6.2.2	LÍNEA DE FANGOS	19
6.3	DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	20
6.4	PARÁMETROS QUE AFECTAN AL PROCESO DE DIGESTIÓN.....	22
6.1	TRATAMIENTO DEL BIOGÁS PARA SU VALORIZACIÓN.....	24
6.1.1	ELIMINACIÓN DEL AGUA.....	25
6.1.2	ELIMINACIÓN DEL H ₂ S.....	25
6.1.3	ELIMINACIÓN DE SILOXANOS.....	26
6.1.4	ELIMINACIÓN DE OXÍGENO Y NITRÓGENO	26
6.1.5	ELIMINACIÓN DE AMONÍACO, PARTÍCULAS Y COMPUESTOS HALOGENADOS ..	26
6.2	TÉCNICAS DE ELIMINACIÓN DEL CO ₂	26
6.2.1	ADSORCIÓN POR OSCILACIÓN DE PRESIÓN	27
6.2.2	ABSORCIÓN CON AGUA A PRESIÓN	28
6.2.3	ABSORCIÓN QUÍMICA	30
6.2.4	MEMBRANAS.....	31
6.2.5	CRIOGENIZACIÓN	32
6.3	ACONDICIONAMIENTO DEL BIOMETANO	32
6.4	REDUCCIÓN DE CO ₂ MEDIANTE EL USO DEL BIOMETANO	33
7.	REQUISITOS DE DISEÑO	36

7.1	CARACTERÍSTICAS CORRIENTE BIOGÁS.....	37
7.2	CARACTERÍSTICAS CORRIENTE BIOMETANO.....	37
7.3	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.....	38
8.	ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	38
8.1	ABSORCIÓN QUÍMICA CON AMINAS.....	39
8.1.1	SEPARACIÓN POR CONTACTO CONTINUO ENTRE FASES INMISCIBLES.....	40
8.1.2	EQUIPOS DE ABSORCIÓN.....	43
8.1.3	RELLENO DE LA COLUMNA.....	48
8.1.4	DISOLUCIÓN EMPLEADA.....	49
8.1.5	DISEÑO COLUMNA DE ABSORCIÓN.....	54
8.1.6	ACCESORIOS DE LA COLUMNA.....	59
8.2	RESUMEN DEL DISEÑO DE LA COLUMNA ABSORCIÓN.....	62
8.3	INTERCAMBIADOR AMINA-AMINA Y COMPLEMENTARIO.....	63
8.4	COLUMNA DE REGENERACIÓN.....	65
8.5	DESHIDRATACIÓN DEL BIOMETANO.....	66
8.6	ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DEL BIOMETANO.....	68
8.7	EMPLAZAMIENTO.....	70
9.	PLANIFICACIÓN.....	72
10.	ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS.....	73
11.	ESTUDIO ECONÓMICO Y VIABILIDAD.....	74
11.1	RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	74
11.2	PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN.....	75
11.2.1	INVERSIÓN INICIAL.....	75
11.2.2	GASTOS DIRECTOS.....	75
11.2.3	AMORTIZACIONES.....	77
11.2.4	GASTOS INDIRECTOS.....	77
11.2.5	GASTOS TOTALES.....	78
11.2.6	INGRESOS.....	78
11.2.7	BENEFICIO BRUTO.....	79
11.2.8	BENEFICIO NETO.....	80
11.2.9	FLUJO DE CAJA.....	80
11.2.10	Valor Actual Neto.....	81
11.2.11	TASA INTERNA DE RETORNO.....	82
11.2.12	PERIODO DE RETORNO.....	84

1. OBJETIVO

El presente documento tiene la finalidad de detallar el diseño de un sistema de absorción de dióxido de carbono de una corriente de biogás de una EDAR, enriqueciendo así su contenido en metano para una posterior comercialización como combustible vehicular.

Se pretende diseñar los equipos necesarios para un lavado químico del biogás mediante aminas y el acondicionamiento del gas depurado para su posterior distribución y venta, cumpliendo con los requisitos establecidos. Además del diseño técnico, se valorará la viabilidad económica de la instalación y su rentabilidad en un periodo de diez años.

El planteamiento de este proyecto surge como solución a la propuesta impulsada por la Comisión Europea para la reducción total de emisiones de CO₂ (50% en 2030 y 90% en 2050). Empleando biometano como alternativa al gas natural comprimido (GNC), las emisiones se reducen notablemente, considerándose neutras por proceder de una fuente renovable como es la biomasa.

2. ALCANCE

El alcance de este proyecto es diseñar un tratamiento de eliminación del CO₂ contenido en el biogás mediante un sistema de absorción-desabsorción con alcanolaminas, enriqueciendo el biogás para un posterior uso como gas natural vehicular.

Esta línea de tratamiento se instala en la EDAR de Almazora, acotando el alcance del presente proyecto desde la salida del biogás de la unidad de pretratamiento hasta la compresión y distribución del biometano.

De este modo, se incluye en el proceso las siguientes instalaciones:

- Un compresor para bombear el biogás desde la zona de pretratamiento hasta la columna de relleno.
- Una columna de relleno para la eliminación del CO₂ de la corriente de biogás mediante una solución acuosa de metildietanolamina (MDEA).
- Un intercambiador de calor para calentar la corriente de amina rica y enfriar la corriente de amina pobre.
- Un intercambiador complementario para enfriar la corriente de amina pobre hasta la temperatura de operación del absorbedor.
- El sistema de bombas para impulsar la corriente líquida desde la columna de relleno hasta la columna regenerativa, pasando por los dos intercambiadores.
- Un enfriador para condensar el agua presente en la corriente de biometano a la salida del absorbedor.
- Un compresor para comprimir el biometano hasta los 250 bares (15°C) y el almacenamiento en botellas a presión.

3. UNIDADES Y SÍMBOLOS

3.1 UNIDADES

- m³: Metros cúbicos
- m²: Metros cuadrados
- m: Metro
- mm: Milímetro
- h: Hora
- s: Segundo
- kg: Kilogramo
- cP: Centipoise
- K: Grados Kelvin
- °C: Grados Centígrados
- N: Newton
- bar: Bares
- Pa: Pascales
- J: Julios
- W: Vatio
- kWh: Kilovatio-hora

3.2 SÍMBOLOS

- c : Concentraciones en ambas fases y en sus respectivas interfases (kmol soluto/m³ disolución).
- k_a y k_b : Coeficientes individuales de transferencia de materia (kmol soluto/h m²(kmol soluto/m³ disolución))
- K_a y K_b (K_G y K_L): Coeficientes globales de transferencia de materia (kmol/m²s)
- N_s : Densidad del flujo de materia (kmol soluto/h m²)
- a : Superficie específica (m²/m³).
- X : Fracción de espacio vacío que deja el relleno.
- A : Área (m²).
- CO₂: Dióxido de carbono.
- CH₄: Metano.
- H₂S: Ácido sulfhídrico.
- NH₃: Amoniacó.
- H₂: Hidrógeno.
- CaCO₃: Carbonato cálcico.
- CO: Monóxido de carbono.
- SiO₂: Óxido de silicio.
- N₂: Nitrógeno.
- O₂: Oxígeno molecular.
- H₂O: Agua.
- P : Presión (Bar o Pa).

- T: Temperatura (°C o K).
- ρ : Densidad (kg/m³).
- μ : Viscosidad (cP).
- v: Velocidad (m/s).
- C_p: Calor específico (kJ/kg°C).
- ΔH° : Entalpía de reacción (kJ/kmol)
- U: coeficiente global de transferencia (W/m²K)
- PM: Peso molecular (g/mol).
- Q: Caudal volumétrico (m³/h).
- m: Caudal másico (kg/h).
- D: Diámetro (m)
- L: Longitud (m)
- M: Masa molar (g/mol)
- G: Caudal molar de gas (kmol/h).
- L: Caudal molar de líquido (kmol/h).
- q: Flujo de calor (W).
- P: Potencia (W).
- e: Espesor (m).
- S: Límite elástico (Pa)
- d_a es el diámetro exterior del fondo (mm)
- d_i diámetro interior del fondo (mm)

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

- r_1 es el radio de bombeado (mm)
- r_2 es el radio de reborde (mm)
- h_1 es la altura de la pestaña (mm)
- h_2 es la altura de la flecha (mm)
- h_3 es la altura total (mm)
- ΔF : Pérdida de carga (J/kg)
- η : Rendimiento
- g : Aceleración de la gravedad. (9,8 m/s²).

4. NORMAS Y REFERENCIAS

4.1 DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS

- UNE 157001:2014. Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- ASME/ASTM Capitulo VIII – División 1. Diseño, construcción e inspección de tanques y recipientes a presión.
- ANSI B 36.19. Tuberías de acero inoxidable.
- REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 205/2021, de 30 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1085/2015, de 4 de diciembre, de fomento de los biocarburantes, y se regulan los objetivos de venta o consumo de biocarburantes para los años 2021 y 2022.
- UNE-EN ISO 5455 – Dibujos técnicos. Escalas (ISO 5455:/979).
- UNE-EN ISO 11439 – Botellas a alta presión para el almacenamiento a bordo de vehículos automóviles de gas natural utilizado como combustible. (ISO 11439:2013)
- DIN 28011:2012-06 – Diseño de fondos y cabezales toriesféricos.
- UNE 26525 – Inspección de la instalación y verificación de las bombonas a alta presión para el almacenamiento de gas natural utilizado como combustible en los vehículos de carretera.
- UNE-EN 16723-2 – Gas natural y biometano para uso en transporte y biometano para inyección en la de red gas natural.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 10/2000, de Residuos de la Comunidad Valenciana.

4.2 BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Rodrigo, M.D., (2003). *Operaciones básicas de flujo de fluidos*. Universitat Jaume I.
- Barba, A., (2003). *Operaciones básicas de transmisión de calor*. Universitat Jaume I.
- Gozalbo, A., Orts, M., (2020). *Apuntes EQ1043, Tecnología del Petróleo y Petroquímica*. Universitat Jaume I.
- Barrera, M., (2019). *Apuntes EQ1040, Tecnología Hídrica y Energética en la Indústria Química*. Universitat Jaume I.
- Jarque, J., (2018). *Apuntes EQ1028, Operaciones de separación II*. Universitat Jaume I.
- Colomer, F., (2019). *Apuntes EQ1031, Proyectos de Ingeniería*. Universitat Jaume I.
- Barba, A., Clausell, C., (2018). *Apuntes EQ30, Reactores químicos y bioquímicos*. Universitat Jaume I.
- Towler, G. P., & Sinnott, R. (2013). *Chemical Engineering Design* (2.^a ed.). Elsevier.
- Inoue, S., Itakura, T., & Nakagaki, T. (2013). *Experimental Study on CO₂ Solubility in Aqueous Piperazine/Alkanolamines Solutions at Stripper Conditions*. Science Direct, 37. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.051>
- Chiu, L.-F., Liu, H.-F., & Li, M.-H. (1999). *Heat Capacity of Alkanolamines by Differential Scanning Calorimetry*. Journal of Chemical & Engineering Data, 44 (631–636).
- Gupta, M., da Silva, E. F., Hartono, A., & Svendsen, H. F. (2013). *Theoretical Study of Differential Enthalpy of Absorption of CO₂ with MEA and MDEA as a Function of Temperature*. The Journal of Physical Chemistry, 117 (9457–9468). <https://doi.org/10.1021/jp404356e>

- Hidalgo-Barrio, D., Martín-Marroquín, J. M. ^a, & Corona-Encinas, F. (2016). *TRANSFORMACIÓN DE BIOGÁS EN BIOMETANO: REVISIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES*. Publicaciones DYNA SL. Published. <https://doi.org/10.6036/ES8078>
- Morero, B., & Campanella, E. A. (2013). *Simulación del Proceso de Absorción Química con Soluciones de Aminas para la Purificación Biogás*. Información Tecnológica, 24(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100004>
- BESEL S.A. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).
- Green, D. W., & Perry, R. H. (2008). *PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS'* (8.^a ed.). McGraw-Hill Companies, Inc. <https://doi.org/10.1036/0071422943>
- RIS3CAT CoSin: combustibles sintéticos. En línea: https://www.naturgy.es/Publicacion/Satellite?c=Page&childpagename=GNF%2FPage%2FGNF_GlobalLayout&cid=1477558301876&pagename=GNFWrapper
- Global Carbon Atlas. En línea: <http://www.globalcarbonatlas.org/es/CO2-emissions>
- LABAQUA. Pretratamiento del biogás. En línea: http://www.ategrus.org/wp-content/uploads/2016/12/6b-SILVIA-NADAL-STA-LABAQUA_vertederos-2015.pdf
- FUNDACIÓN NATURGY. Los gases renovables. Un vector energético emergente. En línea: <https://www.fundacionnaturgy.org/energia-medio-ambiente-2/publicaciones/>
- LABAQUA. Upgrading del biogás. En línea: <https://www.labaqua.com/wp-content/uploads/2017/12/Enriquecimiento-de-biog%C3%A1s-UPGRADING-webinar.pdf>
- BIOENERGÍA. El proyecto agroBiomet y la absorción de CO₂ mediante aminas. En línea:

[http://213.229.136.11/bases/ainia_agrobiomet.nsf/0/03EE31F9B2D78142C1257D480034D28C/\\$FILE/RevistaEnergiasRenovables125_oct2013_42-44.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_agrobiomet.nsf/0/03EE31F9B2D78142C1257D480034D28C/$FILE/RevistaEnergiasRenovables125_oct2013_42-44.pdf)

- IRENA (2018), Biogas for road vehicles: Technology brief, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

4.3 PROGRAMAS INFORMÁTICOS

- Microsoft Word 2016
- Microsoft Excel 2016
- SolidWorks 2019
- Arquímedes. CYPE (Presupuesto y pliego de condiciones)
- Ganttter (Planificación)

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

5.1 DEFINICIONES

- Enriquecimiento: proceso de eliminación del CO₂ de un biogás para aumentar su concentración en metano.
- Gas flaring: emisiones de dióxido de carbono de la combustión de gas liberado por la industria de petróleo y gas para convertir metano a dióxido de carbono.
- Destilación flash: proceso de destilación que ocurre de manera instantánea o súbita. Ocurre cuando una mezcla multicomponente o binaria en equilibrio termodinámico líquido-vapor, experimenta una expansión o disminución de la presión o un cambio en la temperatura de operación.
- Absorbedor: equipo donde se realiza la absorción de un gas, generalmente una columna de relleno o de platos.
- Stripper: proceso de separación física en el que uno o más componentes son eliminados de una corriente líquida por una corriente de vapor. Habitualmente se lleva a cabo en columnas de platos y relleno, y con menos frecuencia en torres de pulverización, columnas de burbujas y contactores centrífugos

5.2 ABREVIATURAS

- EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.
- RSU: Residuos Sólidos Urbanos
- COV: Compuestos Orgánicos Volátiles
- EBA: European Biogas Association
- AGV: Ácidos Grasos Volátiles
- PSA: Pressure Swing Adsorption
- GEI: Gases de Efecto Invernadero
- IPCC: Panel Intergubernamental del Cambio Climático

- DEA: Dietanolamina.
- MEA: Monoetanolamina.
- MDEA: Metildietanolamina.
- PZ: Piperazina
- PEM: Presupuesto de Ejecución de Material.
- PEC: Presupuesto de Ejecución por Contrata.
- S.A: Sociedad Anónima.
- S.L: Sociedad Limitada.
- NUT: Número de unidades de transferencia.
- HUT: Altura de la unidad de transferencia.
- NPSH: Net positive suction head.
- ASME: American Society of Mechanical Engineers
- IPC: Índice de Precios de Consumo
- FC: Flujo de Caja.
- VAN: Valor Actual Neto.
- TIR: Tasa Interna de rentabilidad.
- PR: Periodo de Retorno.

6. ANTECEDENTES

6.1 BIOGÁS Y BIOMETANO

El **biogás** es un combustible gaseoso generado por la acción de microorganismos específicos a partir de biomasa en ausencia de oxígeno, compuesto principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) en proporciones variables según su origen, aunque presenta trazas de otros componentes tales como agua (H₂O, 5-10%), sulfuro de hidrógeno (H₂S, 0,005 a 2%), siloxanos (0-0,02%), hidrocarburos halogenados (COV, <0,6%), amoníaco (NH₃, <1%), oxígeno (O₂, 0-1%), monóxido de carbono (CO <0,6%) y nitrógeno (N₂, 0-2%).

Las principales fuentes de biogás son los residuos ganaderos y agroindustriales, los lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR) y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU). En la **tabla 6.1.1** se muestra la composición cada biogás según el sustrato empleado.

Tabla 6.1.1: Componentes del biogás según el sustrato utilizado. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía.

Componente	Residuos ganaderos	Residuos agrícolas	Fangos de depuradora	Residuos municipales	Gas de vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-80%	50-70%	45-60%
Dióxido de carbono	30-50%	30-50%	20-50%	30-50%	40-60%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-2%	0-5%	0-2%	0-0,2%
Sulfuro de hidrógeno	0-1%	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0-1%
Amoníaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	0,1-1%
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	0-0,2%
Nitrógeno	0-1%	0-1%	0-3%	0-1%	2-5%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	0,1-1%
Constituyentes en cantidades trazas, compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	0,01-0,6%[*]

* Terpenos, ésteres,...

La necesidad de extraer el biogás viene condicionada principalmente por factores ambientales y de seguridad. En primer lugar, se debe extraer para evitar emisiones incontroladas de CH₄, ya que su efecto invernadero es 20 veces más que el CO₂ y, en segundo lugar, para reducir el riesgo de explosiones y/o incendios que puede provocar por su alto contenido en metano.

El biogás va cobrando cada vez más importancia gracias a su capacidad para integrar la economía circular en la generación de energía renovable, es decir, permite aprovechar los residuos como un recurso útil para generar energía de fuentes renovables.

Habitualmente se emplea como combustible en calderas para producir calor o en sistemas de cogeneración para producir electricidad. En la **figura 6.1.1** aparecen las equivalencias de 1 m³ de biogás en las distintas fuentes de energía.

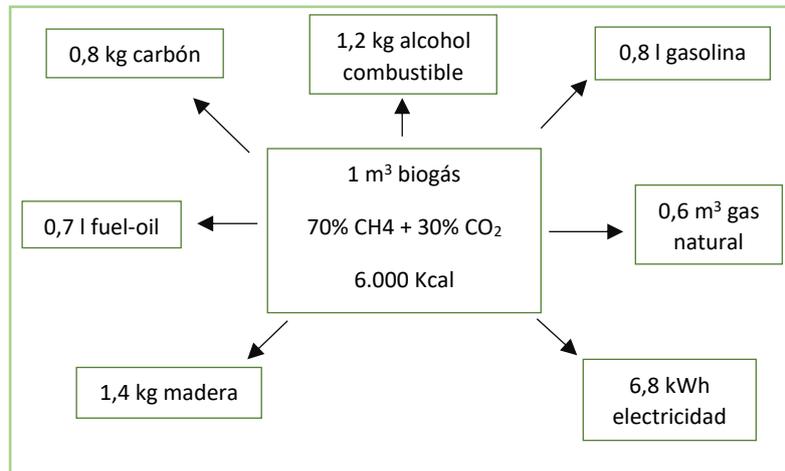


Figura 6.1.1: Equivalencias biogás con otras fuentes de energía. Fuente: Prointec

Si el uso del biogás es para plantas de cogeneración, el tratamiento que se emplea es la eliminación de los compuestos traza (H₂S, NH₃, COVs, siloxanos..., etc) y del vapor de agua, ya que puede provocar problemas de corrosión u obstrucción en los motores y la emisión de gases contaminantes. Sin embargo, si el biogás se emplea para la inyección en la red gasista o para uso vehicular, la normativa difiere porque se necesita un gas con alto contenido energético (<90% CH₄) que necesita someterse a un proceso de depuración (*upgrading*) después de la limpieza inicial.

El proceso consiste en la eliminación del CO₂ para concentrar la corriente en metano y aumentar el poder calorífico del combustible. A continuación, se especifica en la **tabla 6.1.2** y **la tabla 6.1.3** el valor límite permitido de los compuestos para cumplir con la norma UNE-EN 16723-2 que especifica los requisitos para el uso del biometano como combustible vehicular.

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

Tabla 6.1.2. Requisitos, valores límites y métodos de ensayo para el gas natural y el biometano como combustible de automoción.

Parámetro	Unidad	Valores límite ^a		Método de ensayo (informativo)
		Mín.	Máx.	
Silicio volátil total (calculado como Si)	mgSi/m ³		0,3 ^b	EN ISO 16017-1:2000 TDS-GC-MS
Hidrógeno	% mol/mol	-	2	EN ISO 6974-3 EN ISO 6974-6 EN ISO 6975
Temperatura de rocío del hidrocarburo (de 0,1 a 7 MPa presión absoluta)	°C	-	-2 (según la Norma EN 16726)	ISO 23874 ISO/TR 11150 ISO/TR 12148
Oxígeno	% mol/mol	-	1	EN ISO 6974 series EN ISO 6975
Sulfuro de hidrógeno + sulfuro de carbonilo (calculado como azufre)	mg/m ³	-	5 (según la Norma EN 16726)	EN ISO 6326-1 EN ISO 6326-3 EN ISO 19739
S total (incluida la odorización)	mgS/m ³		30 ^c	EN ISO 6326-5 EN ISO 19739
Número de metano	Número	65 ^d (según la Norma EN 16726)		Anexo A de la Norma EN 16726:2015
Aceite del compresor			e	ISO 8573-2
Impurezas polvo			e, f	ISO 8573-4
Aminas	mg/m ³		10	VDI 2467 Blatt 2:1991-08
Punto de rocío del agua	Véase el apartado 4.4			
<p>a Los valores límites son absolutos, el número de decimales no deben presuponer la exactitud de los métodos de ensayo.</p> <p>b Niveles superiores a 0,1 mgSi/m³ pueden dañar gravemente los sensores de oxígeno de algunos vehículos automóviles (véase el informe DNV GL). No obstante, un límite fijo a ese nivel presentaría dificultades en términos de medición analítica (los límites actuales de cuantificación son en el mejor de los casos de 0,10 mgSi/m³, lo que implicaría fijar un límite de 0,30 mgSi/m³). Y actualmente, los procesos de producción de biometano no pueden garantizar un nivel de siloxanos inferior a 0,5 mgSi/m³.</p> <p>c Actualmente hay una diferencia entre las demandas de la industria de automoción sobre el contenido de azufre (10 mgS/m³ odorización incluida) y los valores que la industria del gas puede proporcionar (30 mg/m³ incluyendo la odorización). Véase el anexo B. Es posible cubrir este parámetro en un prólogo nacional.</p> <p>d El número de metano depende de la composición del gas natural distribuido. Se debería observar que sólo una pequeña fracción del gas natural distribuido tiene un número de metano por debajo (MWM) de 70.</p> <p>e El combustible debe estar exento de impurezas aparte de los niveles "de minimis" de aceite de compresor y de impurezas de polvo. En el contexto de esta norma europea, se entiende como "de minimis" a una cantidad que no hace que el combustible sea inaceptable para el uso en las aplicaciones de los usuarios finales.</p> <p>f Las estaciones de abastecimiento de GNL deberían asegurar una contaminación máxima de partículas de 10 mg/l de GNL para proteger el sistema del vehículo automóvil contra los residuos, proporcionando un rendimiento equivalente a un filtro con un tamaño mayor a 5 µm nominal y 10 µm absoluto con una eficacia del 90%.</p>				

Tabla 6.1.3. Propiedades de los gases correspondiendo a los límites del índice de Wobbe del grupo 2H.

		Límite inferior de 2H			Límite superior de 2H		
		G23	Cero CO ₂	Alto CO ₂	G21	Cero CO ₂	Alto CO ₂
Metano	% mol/mol	92,50	92,50	93,31	87	87,02	77,76
Dióxido de carbono	% mol/mol			2,50		0,00	2,50
Nitrógeno	% mol/mol	7,50	7,50	4,19		0,00	0,00
Propano	% mol/mol				13	12,98	19,74
Índice de Wobbe superior	MJ/m ³	45,66	45,66	45,66	54,69	54,69	54,69
PC superior	MJ/m ³	34,94	34,94	35,25	45,16	45,15	48,05
PC superior	MJ/kg	48,68	48,68	48,25	54,06	54,06	50,80
PC inferior	MJ/m ³	31,46	31,46	31,74	40,90	40,89	43,63
PC inferior	MJ/kg	43,83	43,83	43,44	48,96	48,96	46,12
Densidad	Kg/m ³	0,717 8	0,717 8	0,730 7	0,835 4	0,835 2	0,946 0

Según el informe de la Asociación Europea del Biogás (EBA en inglés), el mayor número de plantas de biometano en Europa está en Alemania (232), seguido de Francia (131) y Reino Unido (80), mientras que en España únicamente existen dos plantas en funcionamiento ubicadas en Madrid. Destaca la planta del Parque Tecnológico de Valdemingómez (Madrid) ya que es más antigua y con más capacidad de producción (1000 m³/h según la EBA), cuenta con tres plantas de tratamiento; dos plantas de producción de biogás para generación de energía eléctrica y otra de tratamiento de biogás para producir biometano e introducirlo en la red gasista. La **figura 6.1.2**, que fue actualizada en junio de 2020, muestra gráficamente el número de plantas por país.

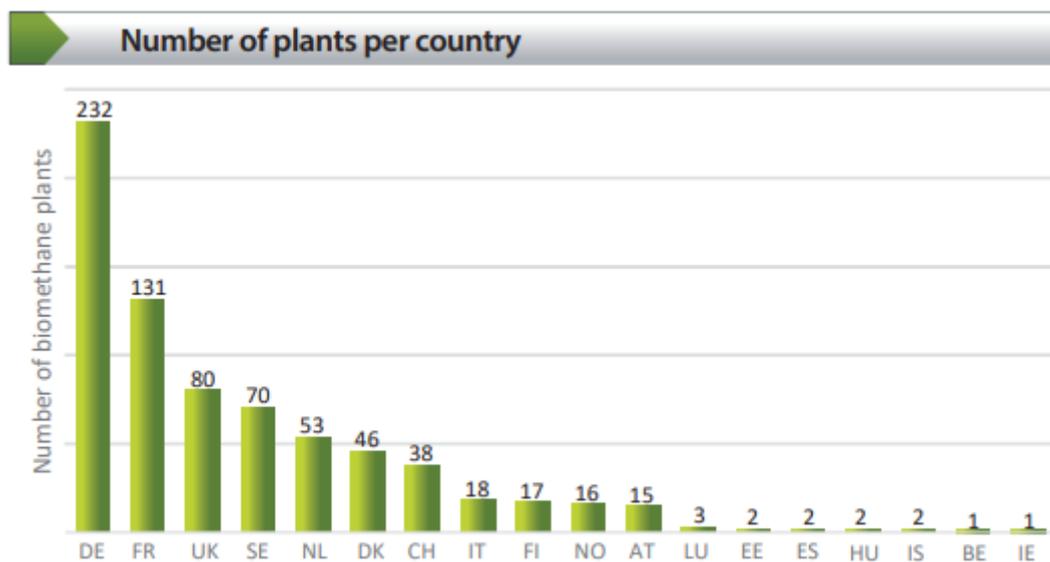


Figura 6.1.2. Nº plantas biometano por país en Europa. Fuente: Mapa Europeo del Biometano(EBA/GIE).

6.2 TRATAMIENTO DE UNA EDAR

El proceso de depuración de las aguas y el tratamiento de fangos de una EDAR consiste en distintas etapas que constituyen una primera línea de tratamientos físicos, químicos y biológicos de las aguas y, paralelamente, un tratamiento físico-químico de los fangos.

6.2.1 LÍNEA DE AGUAS

La línea de aguas habitualmente se compone de un pretratamiento, un tratamiento primario, uno secundario y, finalmente, otro terciario. A continuación, se explican las distintas fases de cada uno de ellos.

➤ Pretratamiento

Consiste en separar los sólidos grandes, las arenas y las grasas de la corriente a tratar, con el objetivo de proteger las siguientes instalaciones de obstrucciones y mejorar la eficacia de la depuración.

En primer lugar, se dispone de una fase de desbaste en la que se eliminan los sólidos haciendo pasar la corriente a través de rejillas para eliminar los gruesos y tamices para eliminar los finos. Después de eliminar los materiales más grandes, en un desarenador se separan las arenas arrastradas por el vertido por sedimentación y, por último, se separan las grasas y aceites por medio de la flotación. La espuma generada en la superficie se elimina con rasquetas en los canales de desarenado y desengrasado. Finalmente, la corriente se introduce en un tanque de homogeneización para mezclar y estabilizar las características del agua (caudal, materia orgánica, pH, etc.). La **figura 6.2.1.1** muestra un esquema del pretratamiento.

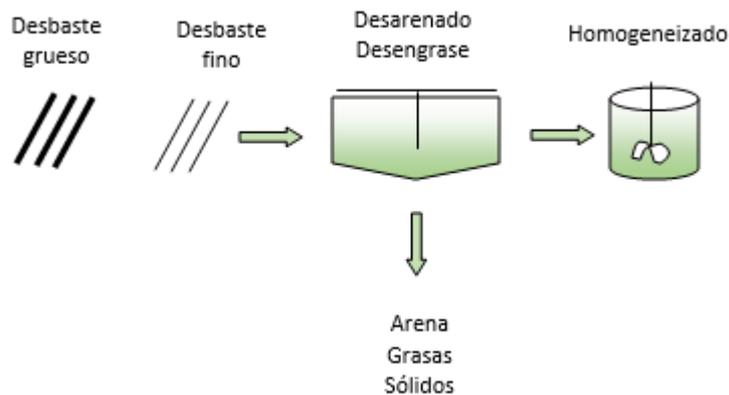


Figura 6.2.1.1. Esquema pretratamiento EDAR.

➤ Tratamiento primario

Consiste en reducir los sólidos en suspensión que están presentes en las aguas, como pueden ser sólidos sedimentables, flotantes o coloidales (0,001-10 µm).

En esta etapa, se suele emplear floculantes y coagulantes para desestabilizar las cargas y aumentar el tamaño de partícula de los sólidos, de esta manera, se facilita la separación en las siguientes etapas de sedimentación y flotación. Las partículas con mayor densidad se depositarán por gravedad en el fondo, y las de menor densidad ascenderán hacia la

superficie y se eliminarán mediante rasquetas en la superficie de los decantadores. En la **figura 6.2.1.2** se muestra un esquema del pretratamiento y el tratamiento primario.

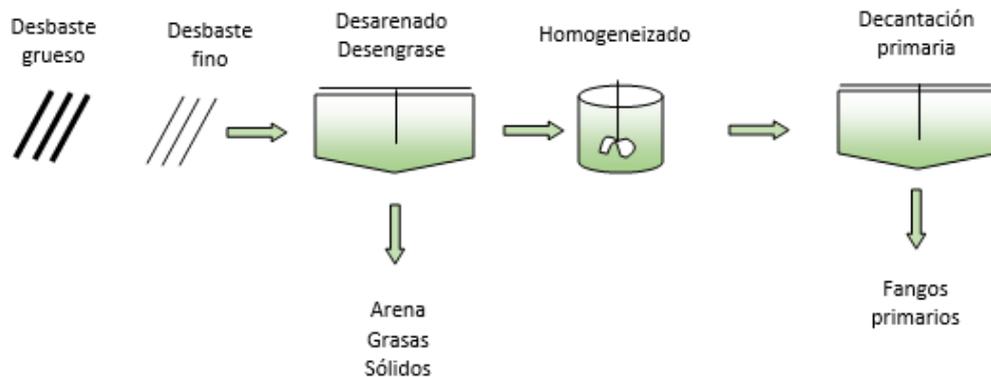


Figura 6.2.1.2. Esquema tratamiento primario EDAR.

➤ Tratamiento secundario

Consiste en el tratamiento con microorganismos para eliminar la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) en un reactor biológico. El proceso puede ser de cultivos en suspensión y con aporte de oxígeno, como los fangos activados, o puede ser de cultivos fijos a través de filtros o biodiscos. Después del reactor, se introduce la corriente en un decantador secundario para separar los fangos. En la **figura 6.2.1.3** se muestra un esquema del tratamiento secundario.

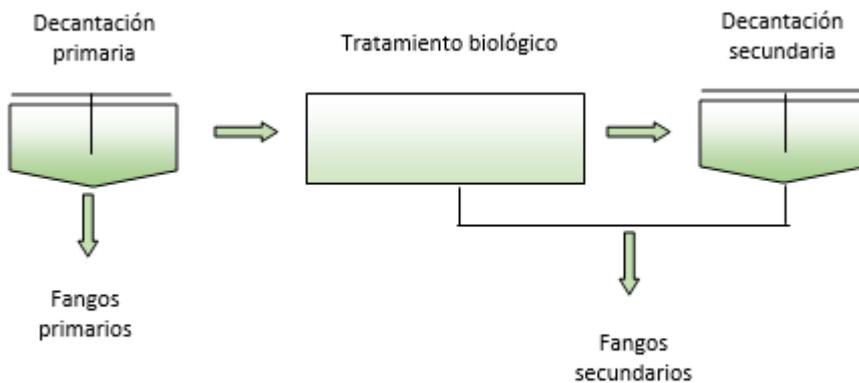


Figura 6.2.1.3. Esquema tratamiento secundario EDAR.

➤ Tratamiento terciario

Este proceso se suele considerar en función de los requisitos para el vertido de las aguas, ya sea en un río, en el mar o para otros fines.

Consiste en un primer proceso de filtrado para eliminar posibles partículas que hayan quedado, y un segundo proceso de desinfección mediante cloro, rayos ultravioletas,

oxidación u ozonización. En la **figura 6.2.1.4** se muestra un esquema del tratamiento terciario.

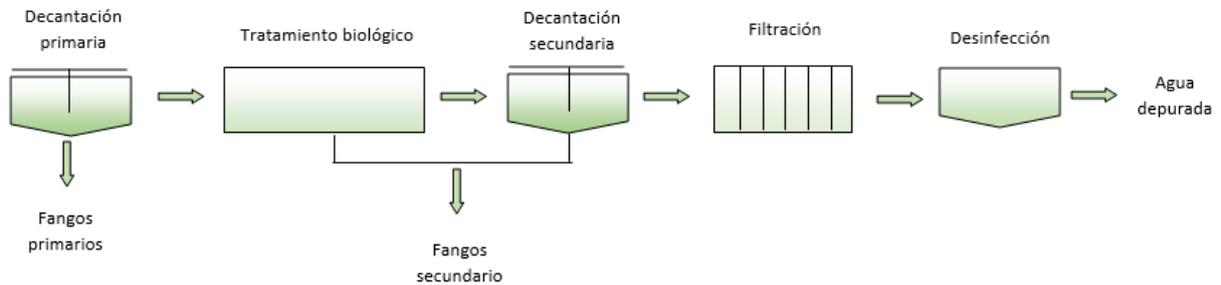


Figura 6.2.1.4. Esquema tratamiento terciario EDAR.

6.2.2 LÍNEA DE FANGOS

Con las decantaciones realizadas en la línea de depuración de las aguas, se obtiene dos tipos de fangos: fangos primarios y secundarios. Ambas corrientes se mezclan antes de procesarlo. La línea de tratamiento de fangos consta de las siguientes etapas:

➤ Espesado

Consiste en la eliminación del agua contenida en los fangos con el objetivo de reducir el volumen y concentrar los sólidos. El proceso de espesado se realiza por gravedad cuando se trata de fangos primarios, y/o por flotación cuando son fangos secundarios debido a sus características (bajo peso específico de los flóculos y dificultad para sedimentar y compactar).

➤ Estabilización

Consiste en la reducción de patógenos y malos olores para conseguir que la materia orgánica residual sea inocua para el medio ambiente. El proceso de estabilización se puede realizar por digestión aerobia, estabilización química o digestión anaerobia, siendo esta última la más empleada por la generación del biogás. Los gases resultantes se almacenan en un gasómetro para su aprovechamiento o se queman de forma controlada en una antorcha.

➤ Deshidratación

El último paso antes de su almacenamiento en tolvas es reducir el contenido húmedo de los fangos ($\approx 90\%$) para reducir su volumen y facilitar su tratamiento. El secado se puede

realizar en eras de secado al aire libre, mediante un filtro prensa o en un tambor cilíndrico-cónico mediante la fuerza centrífuga. En la **figura 6.2.2.1** se muestra un esquema del tratamiento de los fangos.

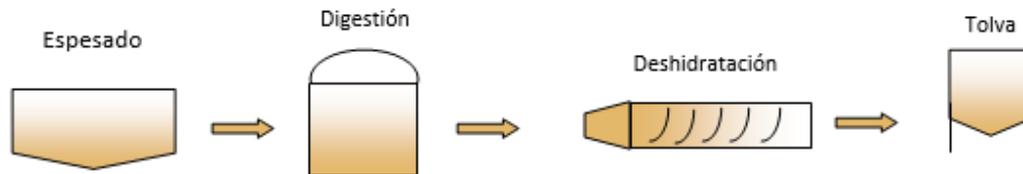


Figura 6.2.2.1. Esquema tratamiento fangos.

6.3 DIGESTIÓN ANAEROBIA

Se define la digestión anaerobia como un proceso de biodegradación de la materia orgánica por la acción de un grupo de bacterias, en un ambiente anóxico y produciéndose metano y dióxido de carbono (biogás) y un digestato como productos de la digestión.

Como consecuencia de este proceso, los fangos se estabilizan produciendo un fango digerido, llamado digestato, con una menor capacidad de producir malos olores y con propiedades fertilizantes. Además, se evitan las emisiones incontroladas de CH₄, que incrementa el efecto invernadero 20 veces más que el CO₂, y se reducen las emisiones de CO₂ por emplear un biocombustible frente a los combustibles fósiles.

Durante todo el proceso, son 5 grandes poblaciones de microorganismos que llevan a cabo toda una serie de reacciones químicas y bioquímicas para seguir el camino de producción del biogás.

En la **figura 6.3.1** se muestra las fases consecutivas que componen el proceso de digestión y las bacterias responsables de la digestión, concretamente: bacterias hidrolíticas-acidogénicas (1), bacterias acetogénicas (2), bacterias homoacetogénicas (3), bacterias metanogénicas hidrogenófilas (4) y bacterias metanogénicas acetoclásticas (5).

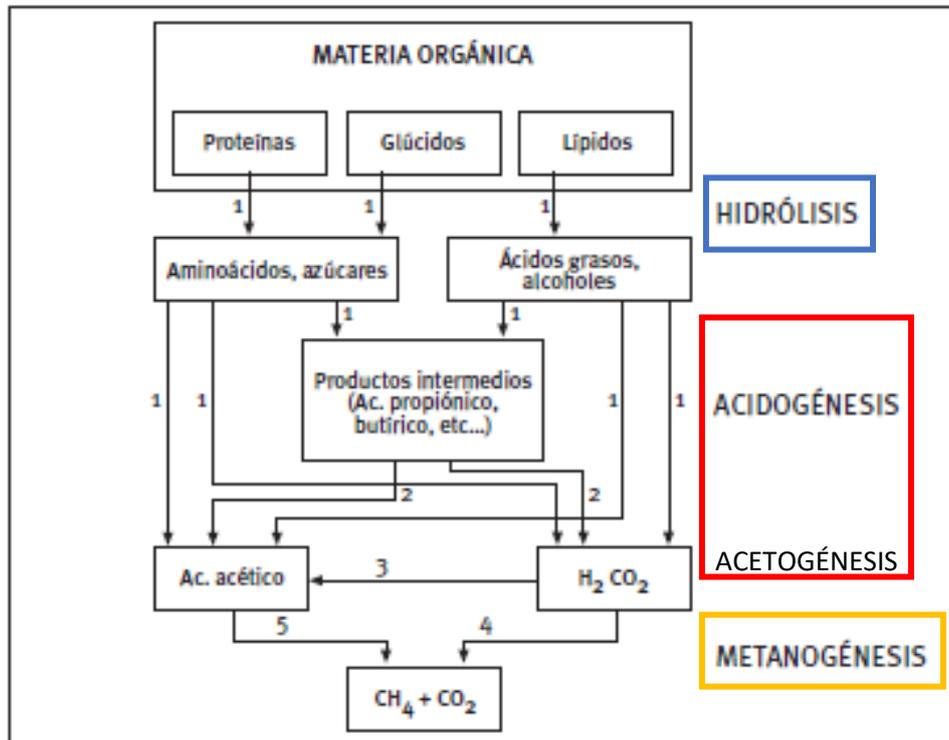


Figura 6.3.1. Fases de la digestión anaerobia y los productos generados.

Por normal general, la etapa más lenta es la que marca la velocidad del proceso, y esto depende de la composición de los residuos que se van a digerir.

Para la materia orgánica que se presenta en forma de partículas, la fase limitante es la hidrólisis, por lo que la velocidad de biodegradación de las bacterias depende del tamaño de las partículas. Para aumentar esta velocidad, se emplean pretratamientos de reducción de tamaño o solubilización de las partículas en el medio. En el caso de los sustratos solubles, la fase limitante suele ser la metanogénesis y la velocidad del proceso es determinada por la cantidad de bacterias acetogénicas y metanogénicas.

La primera fase es la **hidrólisis**, proceso por el cual las partículas de materia orgánica se convierten en compuestos de menor peso molecular gracias a la acción de las enzimas extracelulares de las bacterias. De este modo, se generan ácidos grasos y alcoholes a partir de grasas y aceites y, aminoácidos y azúcares a partir de proteínas y glúcidos que son fáciles de digerir por las bacterias hidrolíticas-acidogénicas. Durante este proceso,

llamado **acidogénesis**, los microorganismos transforman esos compuestos disueltos en otros más simples como ácido propiónico, butírico y acético principalmente, conocidos como ácidos grasos volátiles (AGV). Estos productos intermedios son digeridos por bacterias **acetogénicas** para dar acetato, hidrógeno y dióxido de carbono que, finalmente, se convierten en biogás (CH₄ y CO₂) en la **metanogénesis**. Esta etapa es la más susceptible a cambios ya que las bacterias son muy sensibles a la presencia de oxígeno, cambios en el pH o variaciones en la carga orgánica, es por ello por lo que el crecimiento solo se da con un potencial redox inferior a -330 mV, a una temperatura entre 35-40 °C para bacterias mesófilas o en torno a 55-70°C para termófilas y con un pH en torno a 7,4.

6.4 PARÁMETROS QUE AFECTAN AL PROCESO DE DIGESTIÓN

Los microorganismos empleados tienen distintas velocidades de crecimiento y distinta sensibilidad a los compuestos intermedios que actúan como inhibidores de la reacción, por lo que el proceso debe ser estable y evitar fluctuaciones en los parámetros operacionales. Estos parámetros son los siguientes:

- pH, alcalinidad y ácidos volátiles

El rango de pH debe mantenerse en torno a 6-8. Un valor óptimo en la fase ácida está por debajo de 6,8 y un valor de 7,4 para la fase de metanación. Como lo habitual es llevar a cabo el proceso de digestión anaerobia en un único reactor, ambas fases deben estar en equilibrio, normalmente se establece un valor de 7-7,1 para tener una producción estable de biogás. Es importante tener en cuenta que una acumulación de AGV en el digestor provoca una bajada de pH, lo que implica una desestabilización de las bacterias metanogénicas y una disminución en la producción. Para controlar posibles disminuciones del pH, se debe aumentar la alcalinidad del sistema adicionando carbonato cálcico hasta un valor superior a 1,5g/l CaCO₃, con esto se asegura la capacidad tampón y se evita la inhibición de las bacterias metanogénicas.

- Temperatura

Como se ha comentado anteriormente, el rango de temperatura de operación en el digestor depende del tipo de bacterias que se emplean. Se puede operar en los rangos psicrófilico (temperatura ambiente), mesófilico (entre 33 y 35°C) o termófilico (entre 50 y 60°C). Para que el digestor alcance esas temperaturas, es necesario aportar calor teniendo en cuenta,

por un lado, las pérdidas energéticas, y, por otro lado, la demanda de energía de las bacterias.

Para mantener una población estable de bacterias metanogénicas, la temperatura debe fluctuar lo menos posible, normalmente se aceptan variaciones de 0,6 a 1,2°C por día. Cabe destacar que el aumento de temperatura provoca un aumento de la producción de biogás (siempre por debajo de la temperatura máxima de operación), sin embargo, esto implica un mayor aporte energético y, por lo tanto, un mayor coste.

➤ Tiempos de retención

Los tiempos de retención hacen referencia al tiempo medio de permanencia de los lodos dentro del reactor, sometidos a la acción de las bacterias. Normalmente, el tiempo de retención de un digester suele ser de 15 a 22 días en rango mesófilo, pero se puede reducir mediante un aumento del nivel de agitación, una mejora en el calentamiento del reactor o ciertos tratamientos previos que facilitan la digestión por parte de los microorganismos. Si el tiempo de retención es muy pequeño, es habitual que el proceso de digestión no se lleve a cabo completamente, por lo que implica una reducción en la producción de biogás y el lodo no esté digerido.

➤ Agitación

Tener el digester en constante agitación favorece la homogeneización de los lodos que entran, ya que éstos pueden presentar características y concentraciones distintas según su origen (lodos primarios, lodos del reactor biológico...), y los fangos activos que ya se encuentran en el digester.

Otro de los objetivos que tiene el uso de un sistema de agitación es que incrementa la transferencia de substrato a cada población de bacterias, además de dispersar posibles inhibidores que puedan entrar en el digester y conseguir una temperatura lo más uniforme posible. Favorece también la salida del biogás.

➤ Velocidad de carga orgánica

Se define como la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Si la velocidad es baja, significa que la concentración del influente es baja, por lo que la producción de biogás se ve también reducida, o que el tiempo de retención es

demasiado alto. Por el contrario, si la velocidad es alta, implica una sobrecarga de materia orgánica y la posibilidad de formar espumas que impiden el correcto funcionamiento del sistema.

➤ Concentración de sólidos volátiles (SV)

La producción de biogás está ligada directamente con la reducción de los sólidos que entran en el digestor, a mayor reducción, mayor producción de biogás. Es por ello por lo que se mide la cantidad de biogás en Nm³ de biogás producido por kg de sólido volátil destruido, estando entre 0,75 y 1,1 Nm³/kg los valores normales. Según la eficiencia del digestor, el porcentaje de reducción de los sólidos varía, siendo habitual una reducción entre un 35 y un 50% del total.

➤ Compuestos tóxicos

Algunos compuestos a altas concentraciones actúan como inhibidores del proceso, como es el amoníaco, las sales, los sulfuros, los AGV y algunos metales pesados. A continuación, la **tabla 6.4.1** muestra la máxima concentración permisible en el digestor.

Tabla 6.4.1. Valores límite de compuestos tóxicos en un digestor. Fuente: Consorci Besòs Tordera.

	Concentración (ppm)
Cromo +6	110
Cromo +3	130
Cobre	40
Plomo	340
Zinc	400
Niquel	10
Calcio	8.000
Magnesio	3.200
Potasio	12.000
Sodio	8.000
Tolueno	200
Acetona	800
Benceno	200
Cianuros	0,2

6.1 TRATAMIENTO DEL BIOGÁS PARA SU VALORIZACIÓN

Como bien se ha comentado anteriormente, el biogás está compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono con trazas de otros compuestos que deben ser eliminados

para su valorización, tales como agua, sulfuro de hidrógeno, siloxanos, hidrocarburos halogenados, amoníaco, oxígeno, monóxido de carbono y nitrógeno.

6.1.1 ELIMINACIÓN DEL AGUA

El biogás suele salir del digestor saturado de agua y es necesario eliminarlo para la mayoría de las aplicaciones a causa de la corrosión que genera en equipos y tuberías cuando se combina con ácidos (H₂S, CO₂).

Una de las técnicas más sencillas es la refrigeración del gas provocando la condensación del agua, que es eliminada mediante separadores de partículas o hidrociclones. Otra buena alternativa es la adsorción mediante agentes desecantes como son la alúmina, la sílice y los tamices de zeolitas o, por medio de la absorción con glicoles habitualmente.

6.1.2 ELIMINACIÓN DEL H₂S

El ácido sulfhídrico es un compuesto corrosivo y tóxico y que además genera SO₂ tras su combustión, por lo tanto, su eliminación es necesaria para todo tipo de aplicaciones del biogás.

La desulfuración es una técnica madura, sobre todo en la industria petroquímica, con una variedad de tecnologías para conseguir la eliminación del H₂S que se exponen a continuación.

- Se puede eliminar en el propio digestor mediante la adición de sales férricas que reaccionan con el ácido formando sulfuro de hierro, una sal que precipita en el fondo del reactor
- Mediante la desulfuración biológica, un proceso de degradación del H₂S a través de bacterias sulfooxidantes capaces de transformarlo en azufre elemental o sulfatos.
- Por medio de la absorción física con agua a presión o, por absorción química con compuestos como las aminas o las sales inorgánicas.
- Empleando adsorbentes tales como la alúmina, el carbón activo o la zeolita para conseguir la adherencia del H₂S sobre la superficie.

- Otra de las técnicas es el uso de membranas semipermeables que retienen selectivamente el H₂S.

6.1.3 ELIMINACIÓN DE SILOXANOS

La eliminación de siloxanos es necesaria sobre todo cuando el biogás procede de vertederos ya que está presente en diversos productos como son los cosméticos, los fármacos, desodorantes, algunos jabones, etc.

Son compuestos de silicio en forma de vapor que, si no se eliminan, pueden cristalizar en forma de SiO₂ cuando se produce la combustión del biogás, causando desgastes y fallos en los equipos. Las técnicas más empleadas para la reducción de siloxanos es la adsorción con carbón activo o silicagel, la absorción con hidrocarburos y ácidos/bases fuertes, y la criocondensación (enfriamiento a 4°C y subenfriamiento a -25°C).

6.1.4 ELIMINACIÓN DE OXÍGENO Y NITRÓGENO

La presencia de estos compuestos suele darse por la introducción de aire en el digestor, por lo que es importante un buen control del nivel de oxígeno en el interior del reactor. Se pueden eliminar por adsorción en carbón activo o a través del empleo de membranas selectivas, aunque su extracción es difícil y costosa.

6.1.5 ELIMINACIÓN DE AMONÍACO, PARTÍCULAS Y COMPUESTOS HALOGENADOS

El amoníaco y los compuestos halogenados suelen eliminarse por adsorción con carbón activo o membranas, habitualmente se eliminan juntamente con otros contaminantes anteriormente descritos. Para la eliminación de partículas que puedan quedar en el biogás, se hace pasar la corriente a través de filtros mecánicos.

6.2 TÉCNICAS DE ELIMINACIÓN DEL CO₂

Como se ha comentado anteriormente, la eliminación del CO₂ es parte fundamental del proceso de purificación para obtener un gas de alto valor energético. En la industria, son varias las técnicas que se han empleado a lo largo de la historia para el lavado de gases ácidos como es el dióxido de carbono, algunas más maduras y perfeccionadas que otras. A continuación, se indican las técnicas.

6.2.1 ADSORCIÓN POR OSCILACIÓN DE PRESIÓN

La adsorción por oscilación de presión (PSA, Pressure Swing Adsorption) es un proceso que separa gases individuales de una mezcla de gases, empleando un adsorbente selectivo y variando la presión y la temperatura. Normalmente se emplea en los procesos químicos y petroquímicos para eliminar los gases ácidos como es el H₂S o el CO₂ del gas natural, así como en la industria siderúrgica, para recuperar el hidrógeno (H₂) de los gases de coque o de conversión, o para separar el oxígeno (O₂) y el nitrógeno (N₂) del aire.

El proceso se basa en la unión física de las moléculas de gas (adsorbato) a un material adsorbente específico por fuerzas de van der Waals, con el objetivo de separar solamente el gas necesario sin que los demás gases de la mezcla interactúen con el lecho, como se indica en la **figura 6.2.1.1**. Normalmente se utilizan adsorbentes que contienen carbono, como carbón activado o tamices moleculares de carbono y adsorbentes de óxido como es la zeolita.

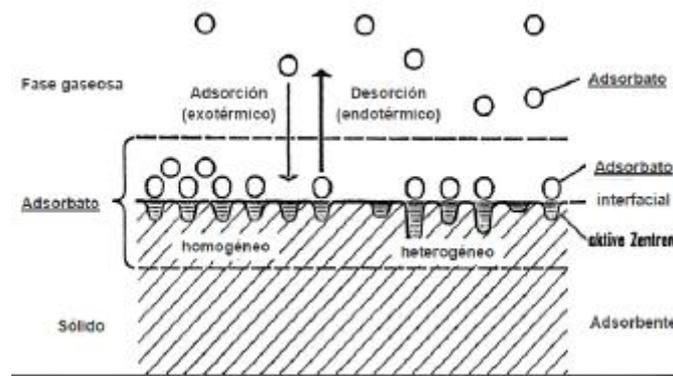


Figura 6.2.1.1.: Mecanismo adsorción gas-sólido.

El proceso PSA consta de cuatro etapas principales tal y como se indica en la **figura 6.2.1.2**

- Adsorción. La columna de adsorción debe estar presurizada (hasta 40 bares) para facilitar la adherencia del gas a la superficie del relleno. El gas de alimentación (gas impuro) se introduce por la parte inferior de la columna, pasa a través del lecho donde se adsorbe las moléculas que se quiere separar de la corriente, y el gas puro sale por la parte superior de la columna. El lecho de la columna va adsorbiendo el gas hasta que se satura y se ha de regenerar.
- Despresurización. La columna se despresuriza para recuperar el gas retenido en el adsorbente y, una vez recuperado, se vierte en la línea de offgas.

- Regeneración. El adsorbente se purga haciendo pasar un gas de alta pureza a presión de gas constante para una mayor regeneración del lecho adsorbente.
- Represurización. La columna de adsorción se vuelve a presurizar con la mezcla de gases o con el gas purgado, de tal forma que se consigue la presión de la 1ª etapa y el proceso vuelve al inicio.

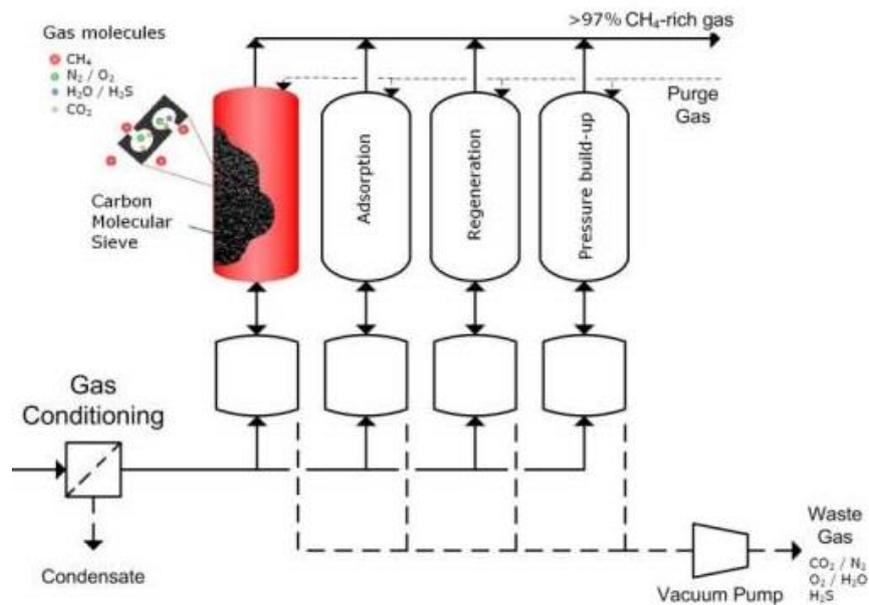


Figura 6.6.1.2: Diagrama proceso PSA. Fuente: Anaerobic Digestion Community.

6.2.2 ABSORCIÓN CON AGUA A PRESIÓN

El lavado de gases con agua se basa en la absorción física de las moléculas/iones del gas en un solvente, en este caso, agua. Este proceso se rige por la ley de Henry, que establece que, a una temperatura constante, la cantidad de cualquier gas disuelto es directamente proporcional a su presión parcial en la corriente de gas.

Habitualmente, este proceso se emplea para eliminar los gases de la mezcla que tengan mayor solubilidad en el medio, de modo que las moléculas de la fase gaseosa se transfieren a la fase líquida dando lugar a una solución. La solubilidad de estos gases varía en función de la temperatura y de la presión, por lo que el sistema suele diseñarse a bajas temperaturas y altas presiones para aumentar la eficacia de absorción. Los gases ácidos como el H₂S o el CO₂ presentan una mayor solubilidad en agua que en metano, y ésta aumenta a medida que la temperatura disminuye. En la **figura 6.2.2.1** se muestran los gráficos de solubilidad (g gas/kg agua) en función de la temperatura del CO₂ y CH₄ en agua.

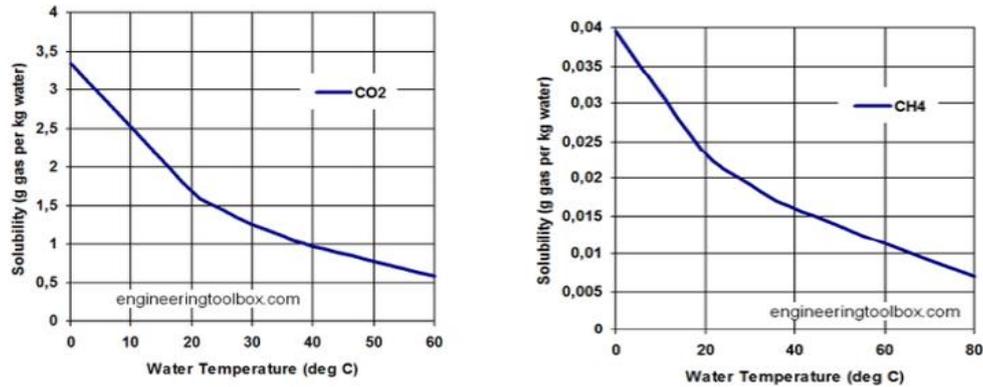


Figura 6.2.2.1: Solubilidad del gas en función de la Tª(°C); Fuente: Engineering ToolBox.

A continuación, se expone un diagrama de proceso de un sistema de absorción de biogás con agua a presión (fig. 6.2.2.2). El gas se comprime a unos 10 bar y entra por la parte inferior de la columna de absorción, mientras que el agua entra por la cabeza de columna. Una vez hecho el intercambio, la solución rica en CO₂ sale por la base de la columna y se introduce en una torre de destilación flash para evaporar el posible metano que se haya absorbido. El biogás enriquecido sale por la parte superior de la columna saturado de agua, por lo que es necesario un proceso de secado tras la absorción.

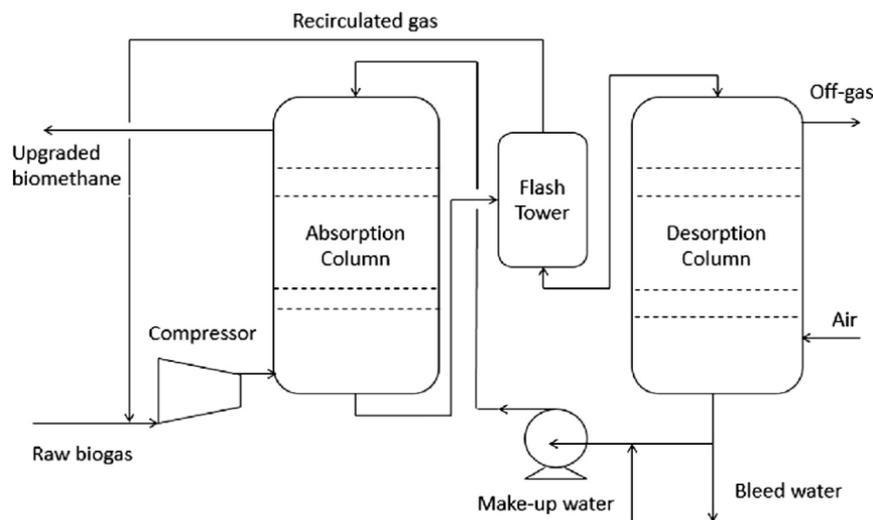


Figura 6.2.2.2: Diagrama de flujo de un sistema de absorción con agua a presión.

La regeneración del agua puede realizarse al disminuir la presión del gas o, introduciendo aire por la parte inferior de la columna. Finalmente, el off gas sale por la cabeza del *stripper* y el agua por la parte inferior, donde es recirculada a la torre de absorción.

6.2.3 ABSORCIÓN QUÍMICA

El proceso de lavado químico es similar al lavado con agua, con la diferencia de emplear un solvente químico que absorbe el gas de manera más eficaz que el agua debido a la reacción química que sucede.. La absorción es una opción muy demandada en la industria química tanto por su facilidad de operación como por su bajo coste.

El proceso consiste, principalmente, en una torre de absorción donde el CO₂ se pone en contacto con la solución alcalina (sales inorgánicas o aminas) y ocurre la transferencia de materia, y una torre regenerativa para recuperar la solución exenta de CO₂ y recircularla. La temperatura de operación de la torre de absorción oscila entre los 30 y 60°C según el disolvente empleado y su presión de vapor, y la presión de operación suele ser baja, entre 0,5 y 4 bares, debido a la gran reactividad que tiene la solución con el gas. La solución rica en CO₂ sale de la torre de absorción y es bombeada a la torre de regeneración, pasando previamente por un intercambiador de calor que aprovecha la energía de la amina pobre (la que sale posteriormente sin CO₂) para precalentar la solución antes de introducirse en el *stripper*.

La regeneración se lleva a cabo entre 100 y 140°C a presiones atmosféricas para favorecer la liberación del gas disuelto en la solución. El calor suele ser aportado mediante un calentador (reboiler) con vapor de agua que pasa a través de la columna (normalmente de platos) y separa el CO₂ que sale por la cabeza de la columna y que posteriormente, se condensa. La disolución regenerada vuelve a introducirse en la torre de absorción pasando previamente por el intercambiador amina pobre/amina rica (el anterior) para enfriarse y, habitualmente, por un enfriador para alcanzar las temperaturas de 30-60°C de la columna de absorción.

En la **figura 6.2.3.1** se muestra un diagrama típico de un sistema de absorción.

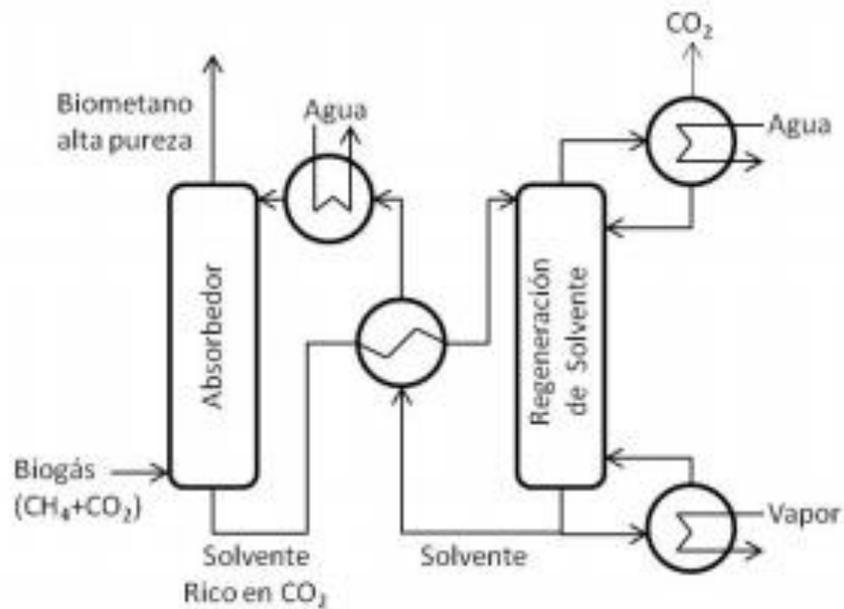


Figura 6.2.3.1. Esquema básico absorción CO₂.

6.2.4 MEMBRANAS

Las membranas que se han utilizado para separación de gases en la industria son, en su mayoría, no porosas (densas) y de un material polimérico. Sí es cierto que en los últimos años las membranas inorgánicas han conseguido un hueco en el mercado, dado que son más resistentes frente a agentes oxidantes, cambios en el pH, temperatura, etc., son las membranas poliméricas las más empleadas para separar CO₂ del biogás.

La separación se basa en las diferencias de difusividad de los gases y de la presión parcial a ambos lados de la membrana, que actúa como fuerza impulsora. En la práctica, el proceso suele estar diseñado a alta presión y con varias membranas en serie para conseguir una mayor separación, lo que implica un coste energético elevado.

Hoy en día la selectividad de las membranas es objeto de mejora ya que se ve reducida por el efecto de plastificación del polímero, fenómeno provocado por dilatación de las cadenas poliméricas al pasar un gas con gran afinidad y a alta presión a través de la membrana.

6.2.5 CRIOGENIZACIÓN

Una de las técnicas más novedosas en el área de limpieza del biogás es la separación por criogenización, que consiste en un proceso de licuefacción del gas aprovechando las diferencias de temperatura de condensación entre el metano (-160°C) y el dióxido de carbono (-78°C).

En primer lugar, el biogás debe someterse a un proceso de secado para evitar la congelación por la presencia de agua y, posteriormente, se realiza una etapa de compresión y otra de enfriamiento, obteniendo así CO₂ condensado.

Esta técnica presenta distintas ventajas como es la obtención de CO₂ puro y, además, la separación de los distintos contaminantes del biogás realizando el enfriamiento en varios pasos. Otra de las ventajas que proporciona es la ausencia de compuestos químicos para el proceso de separación, por lo que no es necesario ningún proceso de recuperación o lavado. Por último y considerando la ventaja más importante, es la única técnica que ofrece la posibilidad de obtener biometano licuado (BGL).

Esta técnica es una de las alternativas más eficaces para la separación del CO₂, pero hoy en día todavía no sale rentable en plantas de pequeño tamaño debido a su elevado coste de operación.

6.3 ACONDICIONAMIENTO DEL BIOMETANO

Tras la obtención de biometano libre de CO₂ (<2,5%), habitualmente se realiza un proceso de secado para eliminar las posibles gotas de agua que puede haber arrastrado el biogás (en el caso de usar una tecnología que emplee agua) y una compresión a 200-250 bares para ser almacenado en botellas a presión siguiendo la norma UNE-EN ISO 11439 “Botellas a alta presión para el almacenamiento a bordo de vehículos automóviles de gas natural utilizado como combustible”.

Cuando la producción de biometano es pequeña, el transporte hasta las gasineras o centros de consumo se hace a través de camiones cisterna a presión o con botellas a presión transportadas por el vehículo. Si la producción es mayor, normalmente se envía por gaseoductos hasta los centros de consumo porque resulta más económico. La compresión

del biometano, que mantiene su estado gaseoso, se realiza para incrementar la cantidad de combustible por unidad de volumen, reduciendo así los costes de transporte.

6.4 REDUCCIÓN DE CO₂ MEDIANTE EL USO DEL BIOMETANO

Con el transcurso de los años, los seres humanos han explotado los recursos no renovables como es el uso de combustibles fósiles, generando un impacto negativo en los ecosistemas y la biodiversidad de nuestro planeta.

Uno de los problemas más graves hoy en día es el cambio climático, causado por las emisiones de los GEI, con efectos ya visibles como es el aumento de la temperatura global del planeta, el deshielo de los casquetes polares, la subida del nivel del mar, las sequías y las olas de calor.

La **figura 6.4.1** muestra la cantidad de CO₂ emitida a la atmósfera proveniente de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas y gas flaring) y de la fabricación del cemento desde los años 1960 hasta 2019 en el mundo. Se observa un incremento de las emisiones del 2% cada año desde 1990 hasta 2019, principalmente producidas por la quema de carbón y petróleo.

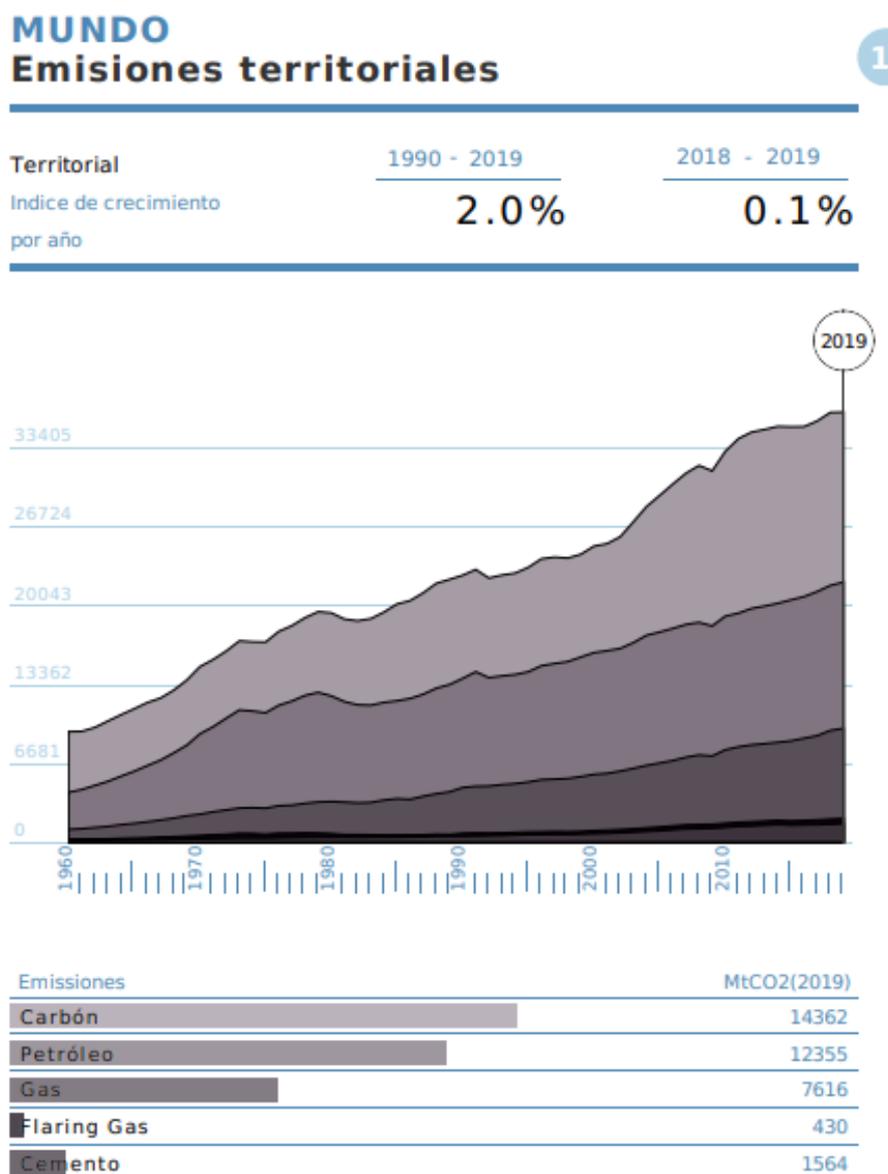


Figura 6.4.1. Historial emisiones territoriales CO₂ según procedencia. Friedlingstein et al., 2020: The global Budget 2020, Earth System Science Data.

A continuación, en la **figura 6.4.2**, se especifican las emisiones de dióxido de carbono atribuidas a los países en donde han ocurrido físicamente. Durante los primeros años, el aumento de las emisiones es debido, principalmente, al desarrollo de países como Estados Unidos, la antigua Federación Rusa y la Unión Europea. A partir de los años 90, empieza

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

a surgir concienciación sobre los problemas ambientales y se establecen una serie de acuerdos para reducir las emisiones de los GEI, como es el Protocolo de Kyoto en 1997 o el Acuerdo de París en 2015.

Pese a existir una clara evidencia de los efectos irreversibles que está causando el cambio climático, se observa que países como China han seguido aumentando el consumo de combustibles fósiles y, como consecuencia, se estima el valor de las emisiones en unas 10175 MtCO₂ en el año 2019.

Territorial (MtCO₂)

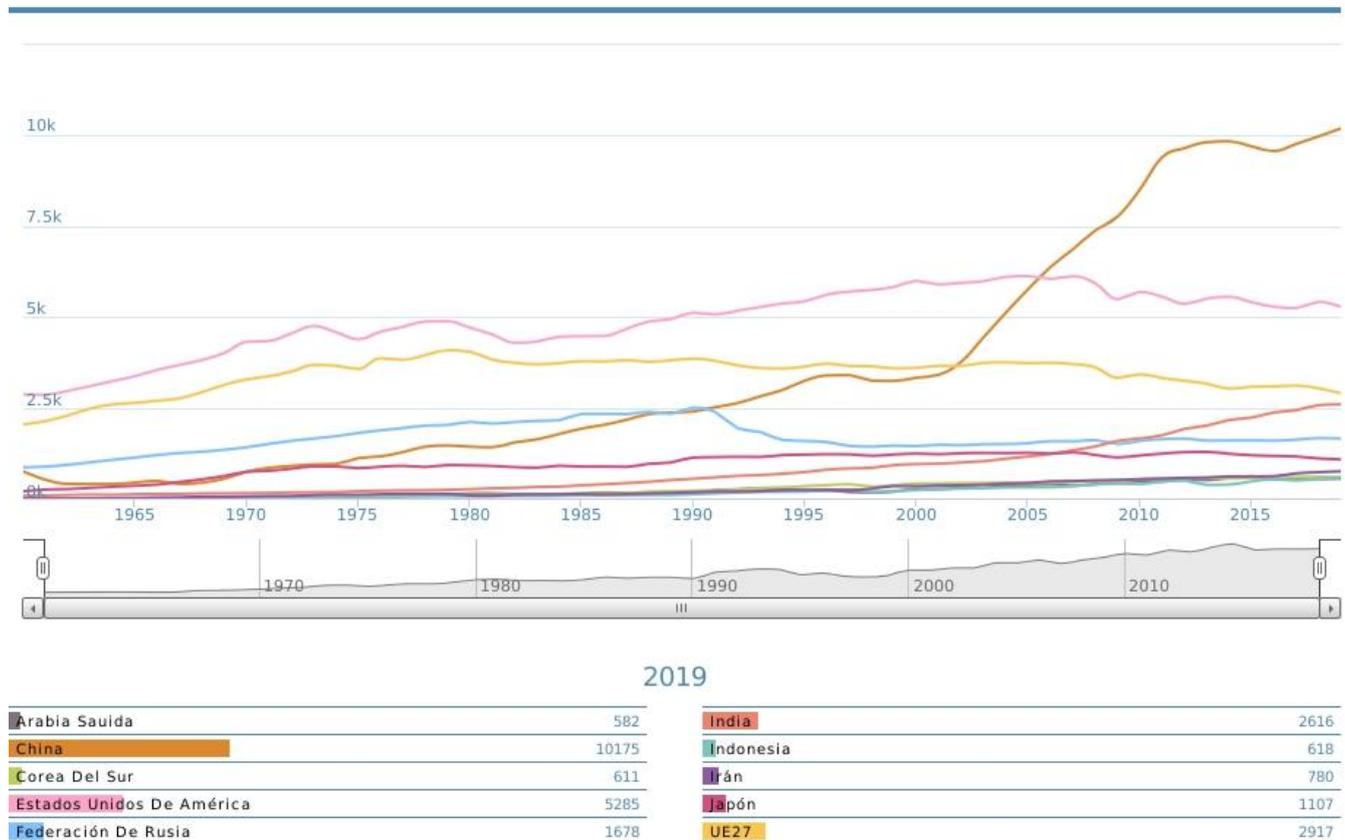


Figura 6.4.2. Historial las emisiones de dióxido de carbono atribuidas a los países en donde han ocurrido físicamente. Friedlingstein et al., 2020: The global Budget 2020, Earth System Science Data.

Nota: MtCO₂ = 1 millón de toneladas de CO₂

Según el IPCC, durante el decenio de 2006-2015, la actividad humana había causado un calentamiento del planeta de 0,87 °C ($\pm 0,12$ °C) en comparación con la era preindustrial (1850-1900). De continuar al ritmo actual de calentamiento, el mundo llegará a un calentamiento provocado por la actividad humana de 1,5 °C aproximadamente en 2040.

Para combatir estos problemas, la Comisión Europea ha pactado una hoja de ruta con los siguientes objetivos para 2030:

- 23% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 42% de renovables sobre el uso final de la energía.
- 39,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 74% de energía renovable en la generación eléctrica

Estos resultados permitirán seguir avanzando hacia el objetivo final, la descarbonización completa para el año 2050, lo que supone una reducción de al menos el 90% de las emisiones brutas totales.

Actualmente, el sector energético genera la mayor cantidad de emisiones de CO₂ (80,70%) en la UE, por lo que, una transición hacia recursos renovables como es el biogás/biometano para generar energía supondría la reducción en un 10-13% a nivel mundial y, en comparación con los combustibles fósiles como la gasolina o el diésel, se considera que los vehículos que funcionan con bioGNC reducen en un 20-30% las emisiones de CO₂.

Otro punto favorable al emplear biometano como combustible es la reducción de emisiones de NO_x, SO_x, NO₂, CO y partículas PM10.

7. REQUISITOS DE DISEÑO

La corriente de biogás que se ha tomado como base de diseño procede de la toma de datos del gasómetro de la EDAR de Castellón de la Plana.

7.1 CARACTERÍSTICAS CORRIENTE BIOGÁS

En la **tabla 7.1.1** se especifican las variables de la corriente de biogás que se ha de depurar. Algunas propiedades como la viscosidad y la temperatura se han tomado de datos bibliográficos, mientras que el peso molecular se calcula en el anexo 1.

Tabla 7.1.1. Especificaciones corriente biogás

Corriente biogás	
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2.400
Caudal másico (kg/h)	2.743,18
Caudal molar (kmol/h)	107,14
Densidad (kg/m ³)	1,1464
Temperatura (°C)	40
Viscosidad (cP)	0,9
PM (g/mol)	25,595
Poder calorífico superior (kcal/m ³)	6.286
Índice de Wobbe (kcal/m ³)	6.675

La composición del biogás, detallada en la **tabla 7.1.2**, ha sido proporcionada por la empresa Applus, especialista en análisis de calidad. Como se puede observar, el biogás se compone principalmente de metano y dióxido de carbono (98%), el resto son compuestos minoritarios que no afectan al proceso ni a la calidad final del biometano.

Tabla 7.1.2. Composición química corriente biogás

Compuesto químico	% en mol
METANO (CH ₄)	65,81
DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	34,17
OTROS	0,02

7.2 CARACTERÍSTICAS CORRIENTE BIOMETANO

En la **tabla 7.2.1** se especifican las características del metano que, por su alto contenido en la corriente de biometano (<95%), se consideran como válidas.

Tabla 7.2.1. Características metano

Metano CH ₄	
Apariencia	Gas incoloro
PM (g/mol)	16,04
Densidad (kg/m ³)	0,657
Viscosidad (cP)	11,2·10 ⁻⁶
Cp (J/mol·K)	35,69
Coeficiente adiabático, k	1,3

7.3 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Se han fijado unas especificaciones de diseño, tanto de la torre como los equipos auxiliares, para marcar unas condiciones de funcionamiento y para simplificar el cálculo y diseño del proceso. Estas especificaciones son las siguientes:

- Según la norma UNE-EN 16723-2:2018, el biometano no debe exceder su concentración de CO₂ en un 2,5% (molar), por lo que se ha fijado un valor límite de operación del 2%.
- Por consultas bibliográficas, se ha establecido una carga de 0,6 mol CO₂/mol MDEA en base a su baja corrosividad, aunque puede llegar incluso hasta 1 mol ácido/mol amina.
- El biogás está libre de contaminantes (H₂S, NH₃...) y de vapor de agua puesto que se emplea como combustible en un motor de cogeneración. Principalmente contiene CH₄ y CO₂.
- El diseño se establece en base a una absorción química lenta del CO₂ con la disolución de una amina terciaria, añadiendo un catalizador/ activador para acelerar la reacción y considerarla instantánea.

8. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En este apartado se documentará la selección del proceso elegido, teniendo en cuenta factores técnicos, económicos y ambientales, con el fin de obtener un diseño lo más ajustado a la realidad y sea óptimo y rentable.

8.1 ABSORCIÓN QUÍMICA CON AMINAS

En base a las distintas tecnologías sobre absorción de CO₂ que hay en el mercado, se ha seleccionado un sistema de absorción con disoluciones de alcanolaminas.

En la **tabla 8.1.1** se exponen las ventajas y desventajas de cada tecnología, considerando la absorción como propuesta final por ser una tecnología optimizada y con gran eficacia.

Tabla 8.1.1. Ventajas y desventajas tecnologías captura CO₂

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Absorción con agua	Alta eficiencia (>97% CH ₄)	Alto coste de inversión y operación
	Eliminación del H ₂ S	Taponamiento a causa del crecimiento bacteriano
	Bajas pérdidas CH ₄ (<2%)	Posible formación de espumas
	Posible regeneración	Poca flexibilidad ante variaciones
	Fácil operación	
Absorción con aminas	Alta eficiencia (>99% CH ₄)	Elevado coste de inversión
	Bajo coste de operación	Requiere de energía para regeneración
	Regenerativa	Corrosión
	Mayor solubilidad del CO ₂ en comparación al agua	Descomposición de la amina
	Bajas pérdidas CH ₄ (<0,1%)	Posible formación de espumas
Adsorción por oscilación de presión	Alta eficiencia (95-98% CH ₄)	Precipitación de sales
	Eliminación del H ₂ S	Alto coste de inversión y operación
	Es apta para pequeñas capacidades	Elevado control del proceso
	Bajo coste energético, alta presión pero con regeneración	Erosión en válvulas y equipos mecánicos
		Pérdidas de CH ₄ si las válvulas no funcionan correctamente
Membranas	Eliminación del H ₂ S y H ₂ O	Baja selectividad de la membrana
	Simple operación	Múltiples pasos necesarios hasta obtener una alta pureza
	Alta fiabilidad	
	Alta eficiencia (>92% CH ₄ 1 paso)	Pérdidas de CH ₄
	Bajos costes de inversión y operación	Poca experiencia
Criogenización	Alta eficiencia (90- 98% CH ₄)	Alto coste de inversión y operación
	CO ₂ y CH ₄ de alta pureza	El CH ₄ puede contener CO ₂
	Bajo coste de energía para conseguir biometano líquido	

Su principal desventaja es el coste de inversión, ya que se necesita equipos auxiliares que incrementan el coste. Otra de sus desventajas es la posible degradación de la amina si se supera su temperatura límite, así como posibles problemas de corrosión en función de la amina empleada.

Frente a estas desventajas, predomina un sistema con una elevada eficacia (<99%) y con muy pocas pérdidas de metano, además de tener mayor selectividad por el dióxido de

carbono y un bajo coste de operación, por lo que se considera un sistema fiable y de fácil operación.

8.1.1 SEPARACIÓN POR CONTACTO CONTINUO ENTRE FASES INMISCIBLES

El proceso que se lleva a cabo es una transferencia de materia de una **fase a** gaseosa una **fase b** líquida inmiscibles entre sí, proceso que se conoce como absorción y, de forma inversa, una desabsorción en la que el soluto pasa de la fase gaseosa a la líquida, como se muestra en la **figura 8.1.1.1**.

Durante el proceso, solamente el soluto S se transfiere de una fase a otra, mientras que los componentes A y B no interaccionan, este caso, el metano con la amina.

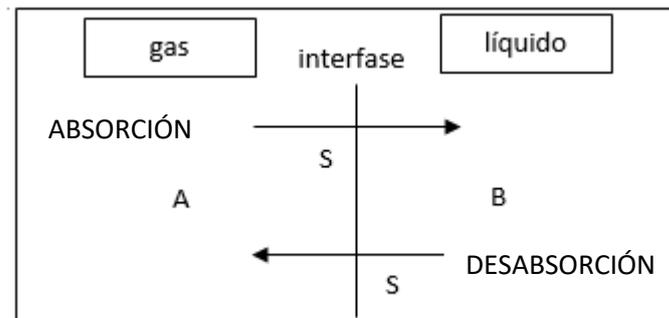


Figura 8.1.1.1. Esquema básico absorción-desabsorción

El resultado de la absorción es la obtención de una corriente libre del soluto, es decir, metano sin CO₂ y, con el empleo de la desabsorción, se evapora el CO₂ absorbido y se recupera la disolución de amina.

Para poder diseñar un equipo de absorción, se requiere de información que condiciona el proceso como son las leyes de equilibrio del sistema gas-líquido, los balances de materia y energía y las leyes de velocidad.

A nivel industrial, el equipo que se emplea para la separación de gases es por contacto continuo y presenta las siguientes características:

- Las dos fases circulan en **contracorriente**.
- El régimen de circulación es **turbulento**.
- Habitualmente tiene lugar en **estado estacionario**.

Si la transferencia de materia es desde **fase a** → **fase b**, y a través de la interfase es instantánea, se cumplirá que:

- La velocidad de transferencia a través de la **fase a** será igual a la velocidad de transferencia a través de la **fase b**.
- Se alcanzará el **equilibrio** a ambos lados de la interfase.

El proceso de absorción puede ser físico si la transferencia del soluto a la fase b se da por presentar mayor solubilidad en ese medio, como sucede en la absorción de CO₂ en agua. Sin embargo, cuando el disolvente empleado es un compuesto químico que reacciona con el soluto de forma instantánea, el proceso se define como absorción química, como es el actual caso de absorción de CO₂ en disoluciones acuosas de aminas.

La transferencia de materia que se lleva a cabo se describe en base a la **teoría de la doble película de Whitman**, que postula que cuando un fluido circula de forma turbulenta junto a una interfase, toda la resistencia al transporte está concentrada junto a la interfase, en una película de espesor ficticio que circula laminarmente junto a esta interfase. De este modo se afirma que la fuerza impulsora, siendo el gradiente de concentraciones, se establece a través de dicha película y que en el seno del fluido la concentración (c_a , c_b) es prácticamente constante. Esto ocurre para ambas fases, considerando que las concentraciones de soluto en la interfase (c_{ai} , c_{bi}) cumplen la relación de equilibrio (**Ec. M.1**).

$$c_{ai} = \phi c_{bi} \quad (\text{M.1})$$

En la **figura 8.1.1.2** se representan, de forma simplificada, los perfiles de concentración en una sección transversal entre dos fases fluidas inmiscibles. Se observa las concentraciones constantes en el seno del fluido y, en la interfase, las concentraciones puntuales en equilibrio.

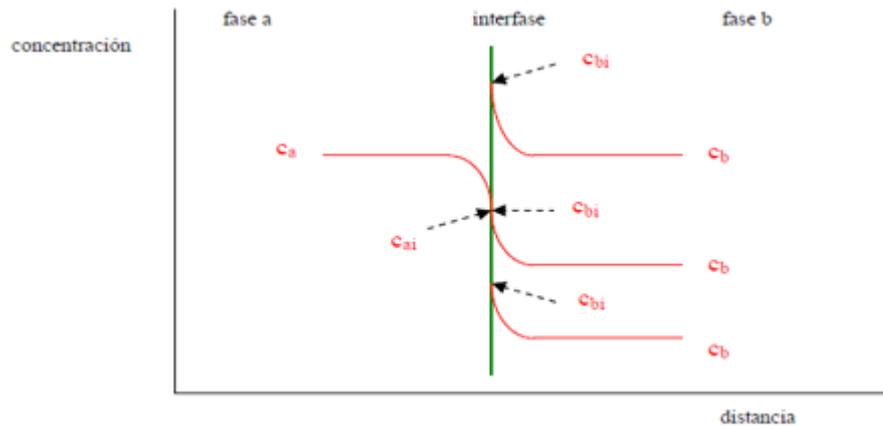


Figura.8.1.1.2. Perfiles de concentración de una sección transversal

Asumiendo que la circulación es turbulenta y la transferencia de materia es simultánea por transporte molecular y turbulento, se puede definir la densidad de flujo de materia de la **fase a** a la **fase b** en función de los coeficientes individuales de transferencia de materia (o coeficientes globales) (**ec. M.2**):

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

Donde:

- c_a , c_b son las concentraciones medias y c_{ai} , c_{bi} son las concentraciones puntuales (kmol soluto/m³ disolución)
- k_a , k_b son los coeficientes individuales de transferencia de materia (kmol soluto/h m² (kmol soluto/m³ disolución))
- N_s es la densidad de flujo de materia (kmol soluto/h m²)

Por la dificultad de conocer las condiciones en la interfase, se emplea una fuerza impulsora total y una resistencia global, de tal forma que la densidad de flujo queda en función de los coeficientes globales (K_a , K_b) y de las concentraciones en el equilibrio (c_{ae} , c_{be}) (**ec. M.3**):

$$N_s = K_a(c_a - c_{ae}) = K_b(c_{be} - c_b) \quad (\text{M.3})$$

El coeficiente global de transferencia de materia representa la inversa a la resistencia que oponen las dos fases a la transferencia de materia por unidad de área (m^3 de fase/ hm^2). De forma aproximada, se puede asumir la constancia del coeficiente global porque el soluto (CO₂) es mucho más soluble en la fase b que en la fase a, por lo que en la fase a no hay transferencia de materia porque la resistencia es mayor a la resistencia en la fase b y, por lo tanto, se afirma que el proceso es controlado por la fase a (**fig. 8.1.1.3**).

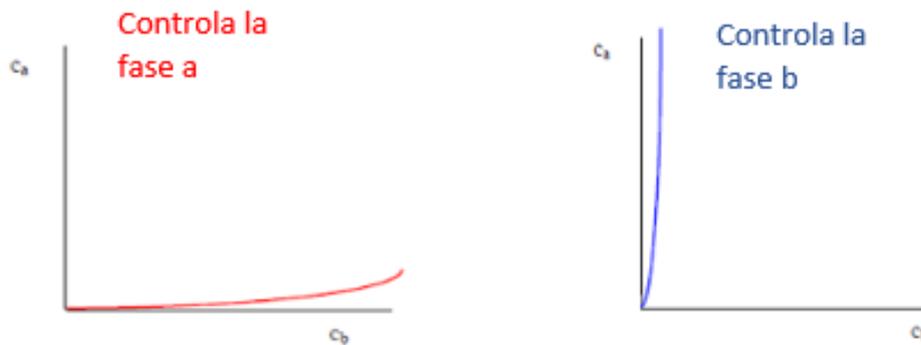


Figura 8.1.1.3. Perfil concentración: a) Controla la fase a, b) Controla la fase b

8.1.2 EQUIPOS DE ABSORCIÓN

Para el diseño del aparato de separación, se han considerado las características de los equipos disponibles, sus ventajas y desventajas y se ha seleccionado el más conveniente para el actual sistema del que se dispone.

Los aparatos más frecuentes para separación de gases en la industria son las columnas de platos en contacto discontinuo y las columnas de relleno en contacto continuo. A continuación, se describen las características de cada una de ellas.

➤ Columnas de platos

Este tipo de torres emplea platos o bandejas horizontales donde se lleva a cabo la operación por etapas. El plato proporciona una gran superficie de contacto entre ambas fases, donde el líquido desciende por gravedad de un plato a otro a través de los tubos de descenso (*downcomers*) y el vapor asciende a través de las aberturas que presenta el plato formando burbujas (**fig. 8.1.2.1**).

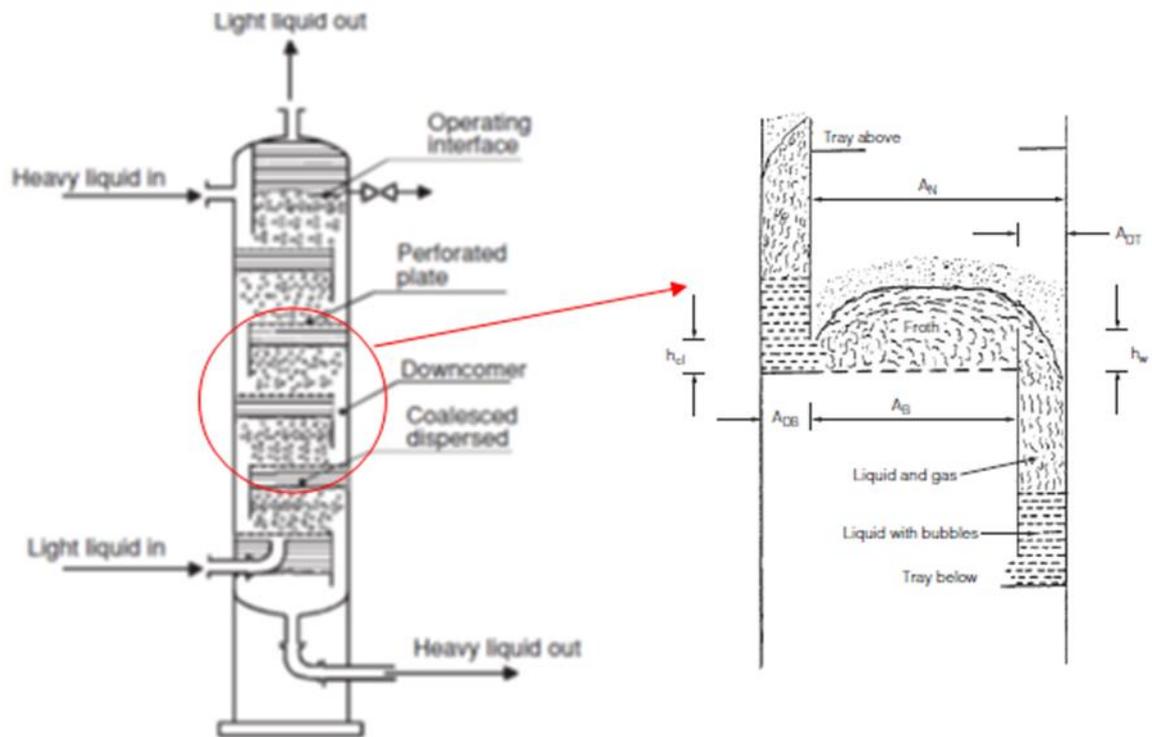


Figura 8.1.2.1. Columna de platos. Fuente: Perrys Chemical Engineer Handbook

Para que la separación se de en buenas condiciones, el plato debe ser capaz de tratar los caudales de líquido y vapor sin que se produzca el fenómeno de inundación o haya un exceso de arrastre de líquido a la salida del vapor. Tradicionalmente se ha empleado tres tipos de platos (**fig 8.1.2.2**), destacando el perforado por ser el más económico. Si se requiere de mayor flexibilidad en el proceso, se suelen emplear los platos de válvulas y, si es necesario controlar el tiempo de residencia, se decide usar los platos de barboteo.

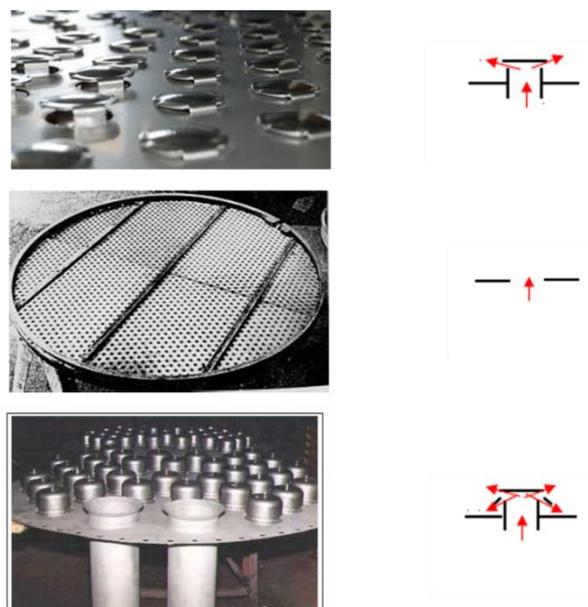


Figura 8.1.2.2. Tipos de platos empleados en columnas

En la actualidad también están los platos de rejilla, de chorros... entre otros.

Las características más destacadas que favorecen a las torres de platos frente a las empacadas son los siguientes:

- Permiten un mayor manejo de corrientes con sólidos en suspensión, aunque la obstrucción de las perforaciones en los platos suele ser un problema bastante común. Sin embargo, la limpieza de los platos es más sencilla que la del relleno.
- Se obtiene una mejor distribución de los fluidos a través de los platos frente al relleno, sobre todo si la torre de relleno presenta un gran diámetro, grandes alturas de relleno, caudales de líquido y rellenos pequeños.
- Facilidad para incorporar equipos auxiliares a la columna, así como mayor flexibilidad para el diseño cuando hay variaciones en la composición de alimentación.
- Mayor retención del líquido y, por lo tanto, mayor tiempo de residencia

Normalmente se emplean este tipo de columnas en los casos en los que puede haber cambios bruscos de temperatura, se trabaja a presiones elevadas o cuando las corrientes contienen sólidos en suspensión.

- Columnas de relleno

Este tipo de columnas se utilizan para sistemas que operan en continuo, como se ha comentado anteriormente. Contienen en su interior uno o varios lechos de relleno de un material inerte, con el objetivo de favorecer el contacto entre el líquido y el gas y, además, permitir aumentar la turbulencia y así conseguir una mejor eficacia (**fig. 8.1.2.3**). Al tratarse de una torre con relleno, es necesario colocar uno o varios distribuidores de líquido para asegurar que el líquido moje el relleno uniformemente y no se formen caminos preferentes (canalización) y haya zonas donde el relleno esté seco. También es necesario un soporte en la parte inferior para aguantar el peso del relleno.

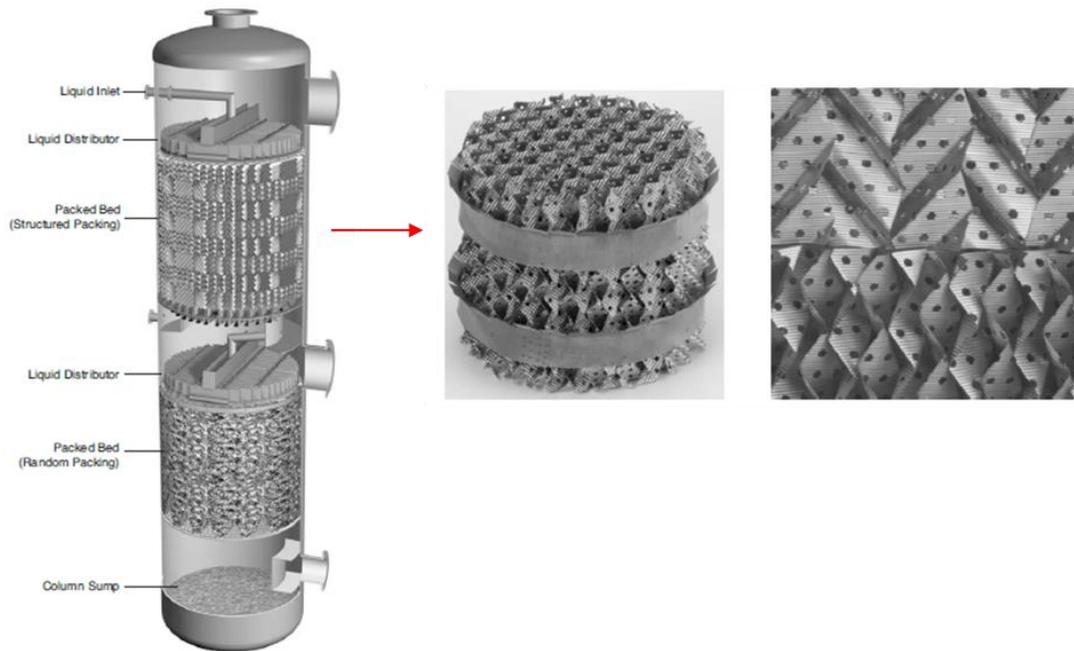


Figura 8.1.2.3. Torre de relleno con relleno estructurado y al azar. Fuente: Perrys Chemical Engineers Handbook

La selección del tamaño del relleno viene condicionada de dos factores, uno es la eficiencia de la transferencia de materia y otro la pérdida de carga, puesto que, a mayor tamaño del relleno, la transferencia de materia disminuye y también aumentan las pérdidas de carga. Por otro lado, la disposición del relleno en el interior de la torre puede ser de forma ordenada, normalmente cuando el volumen del relleno está entre 5-20 cm, o desordenada (al azar) si el volumen es inferior a 50 cm.

La diferencia entre ambos es una mejor distribución del líquido y una menor pérdida de carga, pero también un coste mayor en los rellenos estructurados.

En el mercado existen diferentes tipos de relleno en cuanto a forma y materiales, pudiendo ser cerámicos, metálicos o plásticos. En la siguiente figura (**fig. 8.1.2.4**) aparecen algunos rellenos que son ampliamente utilizados.

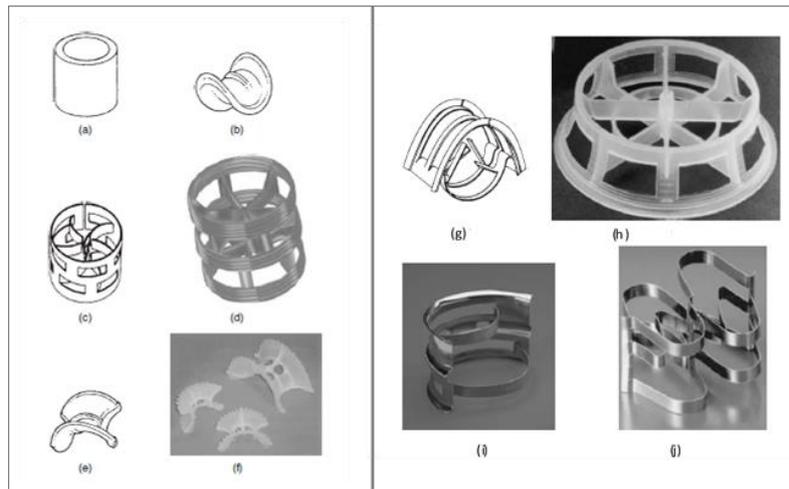


Figura 8.1.2.4. a) anillos Raschig, b) monturas Berl cerámicas, c) anillos Pall metálico, d) anillo Pall plástico, e) montura Intalox cerámica, f) montura super Intalox, g) montura Intalox metálica, h) mini anillo en cascada plástico, i) anillo Nutter metálico, j) anillo super Raschig metálico. Fuente: Perrys Chemical Engineers Handbook

Algunas ventajas que tienen las torres de relleno frente a las de platos son las siguientes:

- La caída de presión es mucho menor porque se obtiene mucha mayor área de contacto logrando casi la dimensión de la sección transversal de la torre.
- Se puede trabajar a bajas presiones o incluso a vacío.
- Disminuye el porcentaje de formación de espuma porque las velocidades son más bajas y el área facilita que la espuma se disperse.
- Son aptas para columnas de pequeño diámetro ya que es más complicado la instalación y el mantenimiento de los platos.
- La variedad de rellenos y materiales hacen que sea más versátil y sea aplicable a fluidos corrosivos, además de tener un menor coste que los platos.
- Presenta menor retención de líquido lo que facilita que no se produzca degradación del líquido, posibles polimerizaciones...

Para este proyecto se ha optado por una columna de relleno en base a las siguientes especificaciones:

- Las velocidades de los fluidos son bajas y es preferible que la caída de presión sea la mínima posible.

- Las disoluciones acuosas de alcanolaminas suelen formar espumas que son más fáciles de controlar en columnas de relleno.
- El gas ácido empleado presenta una concentración notoria de CO₂ (~35%), por lo que es necesario un material resistente a la corrosión como es el plástico o la cerámica.
- El coste de inversión y de mantenimiento de las torres de relleno es significativamente menor a las torres de platos.

8.1.3 RELLENO DE LA COLUMNA

Como se ha comentado anteriormente, existen diferentes tipos de relleno y cada uno de ellos se pueden encontrar en diferentes tamaños y material para que se adapte lo mejor posible al sistema del que se dispone. El tipo de relleno y su disposición son factores que influyen en el buen funcionamiento de la torre.

Se ha seleccionado una disposición al azar del relleno pese a que hay probabilidad de que el líquido tome caminos preferentes, se ha priorizado una mayor variedad en cuanto a forma y tamaño y, un menor coste por unidad y de mantenimiento.

A continuación, se describen las características de los rellenos más empleados a nivel industrial:

- Anillos Raschig. Son piezas tubulares con diámetro similar a su longitud, paredes de pequeño grosor y fabricados con material cerámico o metálico. Poseen una elevada superficie específica lo que permite un buen contacto entre ambas fases. Se puede emplear tanto en rellenos estructurados o al azar.
- Sillas o monturas Berl. Son piezas simétricas similares a una silla, habitualmente de cerámicas con muy baja porosidad. Son muy estables porque su geometría permite que encajen entre sí, impidiendo así que no se bloqueen las piezas y se produzca la canalización.
- Monturas Intalox. Son similares a las sillas Berl con la diferencia de tener agujeros transversales en su parte central. Esta diferencia permite que la caída de presión

sea baja y haya una elevada transferencia de materia, por lo que se obtiene una mejor eficiencia de separación. Pueden ser cerámicas, plásticas o metálicas.

- Anillos Pall. Son cilindros con pequeñas aberturas en las paredes y deflectores en su interior, hecho que permite que el líquido se distribuya tanto por el exterior como por el interior del anillo y el contacto entre ambas fases sea bueno. Presentan baja caída de presión, lo que requiere menor energía en los equipos de impulsión. Pueden ser metálicos o plásticos.

En este caso, el relleno debe tener suficiente resistencia mecánica y ser ligero para disminuir las presiones en las paredes y en el soporte. Por otra parte, se requiere de un relleno con una gran superficie específica para conseguir una buena interacción entre el líquido y el gas y la menor pérdida de presión.

El material debe presentar buena resistencia química a la corrosión y, por supuesto, que tenga un coste reducido.

Con todas estas especificaciones y de acuerdo con la bibliografía empleada, se opta por un relleno tipo **sillas Intalox de polipropileno de 38 mm**, sus especificaciones quedan detalladas la **tabla 8.1.3.1**. La decisión de elegir un material plástico ha sido por ser más ligero y económico que el metal y ser resistente a agentes químicos.

Tabla 8.1.3.1. Especificaciones relleno

Especificaciones relleno	
Tipo	intalox saddle plastic
Medida (mm)	38
Espacio libre	0,96
Densidad (kg/m ³)	92
Factor de relleno (m ⁻¹)	201
Area superficial (m ² /m ³)	178

8.1.4 DISOLUCIÓN EMPLEADA

El campo de estudio de la absorción de gases ácidos con compuestos químicos ha sido ampliamente investigado a lo largo de los años, consiguiendo así una tecnología madura que permite obtener buenos resultados a bajos costes.

Tradicionalmente los solventes que se han empleado en la absorción del CO₂ han sido las disoluciones de sales inorgánicas y las disoluciones de aminas, siendo estas últimas las más empleadas hoy en día.

Las aminas son compuestos orgánicos derivados del amoníaco, resultantes de la sustitución de uno o varios hidrógenos de la molécula de amoníaco por radicales. Al ser compuestos alcalinos, reaccionan con ácidos dando lugar a sales y jabones. En función de los hidrógenos sustituidos, las aminas son primarias con un hidrógeno, secundarias con dos o terciarias con tres (**fig. 8.1.4.1**)

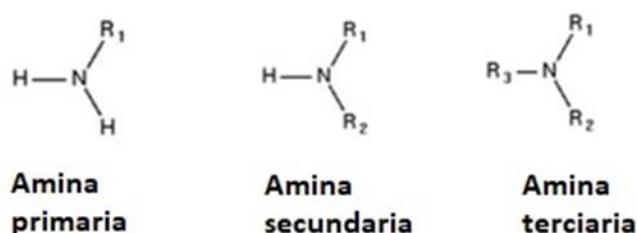


Figura 8.1.4.1. Tipos de aminas

Para la selección del tipo de amina que más se adapte a nuestro sistema, se realiza una comparación de las aminas más empleadas para esta aplicación, siendo tradicionalmente la MEA y DEA y, más reciente, aminas terciarias como la MDEA mezclada con una amina secundaria como activador.

- Monoetanolamina (MEA). Es la amina más reactiva, empleada sobre todo en procesos no selectivos de eliminación de CO₂ y H₂S con bajas concentraciones, a bajas presiones y con la necesidad de eliminar un alto porcentaje de CO₂. Es recomendable en aplicaciones cuando no existan impurezas como COS, CS₂ u oxígeno ya que pueden degradar. Uno de los principales problemas de operar con MEA es su carácter corrosivo y la tendencia para formar espumas, limitando su concentración entre el 15-20% en peso y hasta el 30% si se adiciona un inhibidor de corrosión. Otra desventaja es su elevada presión de vapor, lo que provoca pérdidas de producto por evaporación. El coste energético para la regeneración de la amina es significativo, ya que la MEA es la más alcalina y reacciona fuertemente con el CO₂.

- Dietanolamina (DEA). Pertenece al grupo de las aminas secundarias y se usa especialmente en la industria petroquímica para tratar corrientes de gas natural con más del 10% en peso de gas ácido y/o a altas presiones. Sin embargo, a concentraciones de más del 25% se vuelve viscosa y para la eliminación del CO₂ no es recomendable porque puede degradar la disolución. Es menos corrosiva que

la MEA y presenta una presión de vapor más baja, por lo que las pérdidas de producto son mucho menores. La energía de regeneración también es menor puesto que la amina es menos reactiva.

- Metildietanolamina (MDEA). Esta amina terciaria se ha convertido en una excelente opción para la eliminación selectiva del H₂S en presencia de CO₂, sin embargo, debido a su lenta reacción con este gas solo es capaz de eliminar el 30% de la corriente. Es la menos corrosiva y la que menor presión de vapor presenta, por lo que puede emplearse con concentraciones de hasta 60% en masa sin producirse pérdidas de producto. La energía que se requiere para regenerar la amina es la más baja en comparación a las otras, pero su precio también es ligeramente mayor. Para la eliminación efectiva del CO₂, a la disolución se le añade otra amina (activador) que acelera la absorción, pasando a ser MDEA activada (A-MDEA).

Algunas características se ven recogidas en la **tabla 8.1.4.1**.

Tabla 8.1.4.1. Propiedades físicas amina pura y en disolución

Propiedades físicas	MEA	DEA	MDEA
Propiedades amina pura			
Peso molecular	61,09	105,14	119,17
Densidad relativa (20/20°C)	1,018	1,092(30/20°C)	1,042
Punto de ebullición (°C)			
760 mmHg	171	se descompone	247,2
50 mmHg	100	187	164
10 mmHg	69	150	128
Presión de vapor (mmHg a 20°C)	0,36	0,01	0,01
Punto de congelación (°C)	10,5	28	-21
Solubilidad en agua (wt% a 20°C)	100	96,4	100
Viscosidad dinámica (cP a 20°C)	24,1	380 (30°C)	101
Propiedades en disolución			
wt% solución	15	25	48
Viscosidad (cP a 40°C)	1	1,3	4
Presión total de vapor (kP a 40°C)	7,2	6,6	6,3

Para la selección de la amina adecuada, se han de tener en cuenta las siguientes propiedades:

- Baja volatilidad. El disolvente debe tener una baja presión de vapor para minimizar las pérdidas de producto.

- Capacidad de carga. Se requiere una elevada capacidad de absorción para reducir la cantidad necesaria de amina.
- Energía de regeneración. El gran coste de operación de los sistemas de absorción con aminas se debe al consumo por regeneración, por lo que se prioriza una amina con bajo calor de reacción.
- Corrosión. Se debe evitar una amina que forme productos corrosivos o que se degrade térmicamente.
- Viscosidad. Se prefieren bajas viscosidades porque facilita el contacto entre fluidos, además de prevenir inundaciones en la torre o problemas en los equipos.

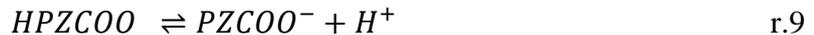
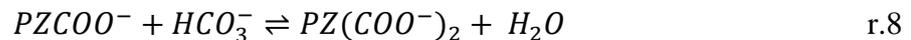
De las tres aminas expuestas, se descarta la DEA por no ser recomendable para la absorción de CO₂. La MEA presenta una alta reactividad frente a la MDEA, pero también genera más problemas de corrosión que implican un mayor mantenimiento a la larga. Además, la elevada presión de vapor de la MEA hace que sea más volátil y se arrastre producto por la cabeza de la torre. La energía de regeneración de la MDEA es la más pequeña de todas y presenta una mayor capacidad de carga frente a las otras aminas (entorno al 0,6 frente al 0,4 de la MEA). Uno de los grandes inconvenientes de la MDEA es su reacción lenta con el CO₂ si está en bajas concentraciones y si solo se emplea MDEA pura, además de que su precio es más elevado en comparación a las otras. A pesar de los inconvenientes, para este proyecto se ha decidido emplear MDEA activada con una amina secundaria, piperazina (PZ).

Muchos de los estudios consultados coinciden en el uso de mezclas de MDEA y piperazina para sistemas de absorción de CO₂ ya que acelera la cinética de la reacción además de reaccionar con el CO₂, aumentando así el índice de absorción, llegando a conseguir mejores resultados en comparación con la MEA. Otros puntos a favor de emplear PZ es su resistencia a la degradación por oxígeno y a la degradación térmica, pudiéndose alcanzar hasta 150°C.

Se establece una concentración del 40% en peso de MDEA y un 10% de piperazina en función de las fuentes bibliográficas consultadas. Sin embargo, para el cálculo de las dimensiones de la torre se consideran las características de la MDEA para facilitar el proceso de cálculo, asumiendo el error que se comete.

Cierto es que la reacción que se da en el sistema CO₂-MDEA es muy lenta, esto es debido a que la amina no reacciona directamente con el CO₂, sino que absorbe los hidroxilos producidos por la hidrólisis del CO₂ con el agua. Como aproximación, se considera una reacción instantánea por la adición de piperazina.

Las reacciones que se dan en un sistema CO₂-MDEA-PZ-H₂O son las siguientes:



Primero sucede la disociación del agua (r.1), seguido de la formación y disociación del bicarbonato (r.2, r.3), a continuación, ocurre la protonación de la MDEA (r.4), la protonación y desprotonación de la PZ (r.5, r.6) y por último la formación del carbamato de PZ, dicarbamato de PZ y la protonación del carbamato (r.7, r.8, r.9).

Es importante remarcar que la reacción global que se lleva a cabo es de carácter reversible y exotérmica, sin embargo, para el diseño de la torre de absorción se ha realizado una aproximación a una reacción irreversible e instantánea por la adición de una amina activadora. La decisión se ha tomado como alternativa por falta de información acerca de equilibrios en sistemas CO₂-MDEA-PZ similares al nuestro.

8.1.5 DISEÑO COLUMNA DE ABSORCIÓN

A lo largo de este apartado se exponen el procedimiento de diseño de la columna de relleno teniendo en cuenta las capacidades a tratar y el fenómeno de transferencia de materia de un gas a un líquido. Los cálculos quedan detallados en el anexo 2.

El primer paso es definir la cantidad de disolución necesaria para depurar el CO₂ de la corriente de biogás y, a continuación, plantear los balances de materia y energía para conocer las condiciones de entrada y salida de la torre.

En segundo lugar, se calcula el diámetro en función de los caudales que anteriormente se han fijado y haciendo uso de la gráfica de Lobo. Por último, se calcula la altura del relleno necesario y la altura total, teniendo en cuenta los accesorios de la columna.

➤ Diámetro de la columna

Para el cálculo del diámetro se emplea la gráfica de Lobo, teniendo en cuenta la velocidad de anegamiento de la columna, definida como la velocidad que provoca una inundación de la columna por un exceso de flujo de gas sobre el líquido. Para prevenirlo, los expertos recomiendan que el sistema funcione a una velocidad del 50-60% de la velocidad de anegamiento.

A partir del gráfico se calcula la velocidad superficial a la que circula el gas y, conociendo el caudal volumétrico, se obtiene el área transversal y el diámetro de la columna. El resultado que se obtiene es de un diámetro de **86,89 cm**. Los cálculos quedan detallados en el anexo 2.

➤ Altura de relleno de la columna

Para el cálculo de la altura del relleno se ha empleado el método de Chilton y Colburn, para sistemas de absorción química, considerando la reacción instantánea y la transferencia de materia solo en la fase gaseosa. Es importante saber que la altura establece los requisitos de absorción, es decir, en función de la cantidad de materia transferida y la velocidad de transferencia se diseña altura de la torre.

Para este proyecto se decide definir el valor del coeficiente de transferencia de materia en la fase gaseosa (K_{Ga}) en base a estudios realizados de absorción de CO₂ en disoluciones

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

de MEA empleando monturas Intalox de 38 mm. Se realiza esta aproximación por la abundancia de información disponible sobre ensayos CO₂-MEA.

El valor de **K_{Ga}** es de **0,0131 kmol/m³s** para un relleno tipo monturas Intalox de polipropileno de 38 mm (**fig. 8.1.5.1**). Para pasar a unidades de kmol/h·m³·kPa, la bibliografía indica que se ha de multiplicar el coeficiente por 0,1581. El cálculo queda detallado en el anexo 2.

Absorbed gas	Absorbent	<i>K_{Ga}</i> , lb mol/(h-ft ³ -atm)
Cl ₂	H ₂ O-NaOH	20.0
HCl	H ₂ O	16.0
NH ₃	H ₂ O	13.0
H ₂ S	H ₂ O-MEA	8.0
SO ₂	H ₂ O-NaOH	7.0
H ₂ S	H ₂ O-DEA	5.0
CO ₂	H ₂ O-KOH	3.10
CO ₂	H ₂ O-MEA	2.50
CO ₂	H ₂ O-NaOH	2.25
H ₂ S	H ₂ O	0.400
SO ₂	H ₂ O	0.317
Cl ₂	H ₂ O	0.138
CO ₂	H ₂ O	0.072
O ₂	H ₂ O	0.0072

Figura 8.1.5.1. Valores de *K_{Ga}* típicos de torres de absorción de CO₂ con monturas Intalox. Fuente: Perrys Chemical Engineer Handbook

Cabe destacar que este proyecto es una aproximación de un sistema de absorción de CO₂ con MDEA activada, para lo cual sería necesaria una simulación para obtener unos resultados con mayor exactitud. Sin embargo, se dan por buenos asumiendo un margen de error.

Una vez fijado el valor de **K_{Ga}**, se procede al cálculo de la altura mediante la obtención del **NUT** y **HTU**. El **NUT** (número de unidades de transferencia) se trata de un valor adimensional que representa el número de unidades ficticias necesarias para lograr la absorción deseada, y el **HTU** (altura de la unidad de transferencia) hace referencia a la altura necesaria de cada una de las unidades de transferencia para que la absorción se dé de forma correcta. La altura es el resultado del producto de ambos valores.

Los resultados que se obtienen quedan detallados en el anexo 2, siendo los siguientes:

$$\begin{aligned}H_{GT} &= 2,522 \text{ m} \\N_{GT} &= 3,755 \\h &= 9,471 \text{ m} \approx 9,5 \text{ m}\end{aligned}$$

Gracias al “know-how” sobre las torres de relleno, se recomienda que la altura no sobrepase los 6 metros de relleno por posibles problemas de canalización del líquido, es por ello por lo que se divide en dos lechos de 4,75 m con 20 cm de separación entre sí.

➤ Presión y temperatura de diseño

La presión y la temperatura son dos variables muy importantes a la hora de diseñar una columna dado que condicionan los materiales empleados en la construcción de la torre, además de fijar unas condiciones límite de operación por seguridad.

Para la presión es necesario tener en cuenta la presión hidrostática del líquido, la presión que ejerce el relleno y la presión atmosférica, despreciando la presión que ejerce el gas frente al líquido, además de fijar un factor de seguridad del 10%. El valor de la presión es de **2,237 bar**.

Para la temperatura es necesario tener en cuenta la temperatura de operación de la columna, así como un margen de unos 20°C y un factor de seguridad del 10%. La temperatura de operación es de **66°C**. Ambos cálculos se detallan en el anexo 2.

➤ Material

Algunos de los materiales más comunes para la construcción de recipientes a presión según la norma ASTM/ASME (The American Society of Mechanical Engineers) son los aceros al carbono y de baja aleación como son A/SA 515 (para temperaturas intermedias/elevadas) y A/SA 516 (para temperaturas bajas e intermedias) si los materiales no son altamente corrosivos. Cuando se emplean materiales corrosivos, la torre puede fabricarse con un acero de alta aleación como son los aceros inoxidable o metales no ferrosos como el titanio. Sin embargo, estos materiales resultan ser muy caros o presentan limitaciones de diseño como es la resistencia, por lo que se suele emplear acero al carbono de baja aleación con un revestimiento resistente a la corrosión.

Según fuentes consultadas, se ha opta por un acero **A/SA 515 gr. 70** proporcionado por la empresa ArcelorMittal. Dado que es un proceso que emplea componentes ligeramente corrosivos, se decide utilizar un revestimiento de resinas epoxi reforzadas con fibra de vidrio para evitar al máximo problemas de corrosión.

➤ Espesor de la envolvente

El espesor de la envolvente hace referencia al espesor de la capa que envuelve la columna pudiendo ser cilíndrica o esférica, en este caso, de un acero de baja aleación A/SA 515 gr.70.

El cálculo se realiza siguiendo el código ASME para recipientes a presión, concretamente la sección VIII división 1. El resultado del espesor necesario para la columna es de **8 mm**, quedando detallado el cálculo en el anexo 2.

➤ Fondo de la columna

En el mercado existen diferentes tipos de fondos para recipientes que se diferencian en la presión que son capaces de soportar y/o el tipo del depósito. A continuación, se exponen algunos de los fondos más habituales que se pueden encontrar (**fig. 8.1.5.2**).

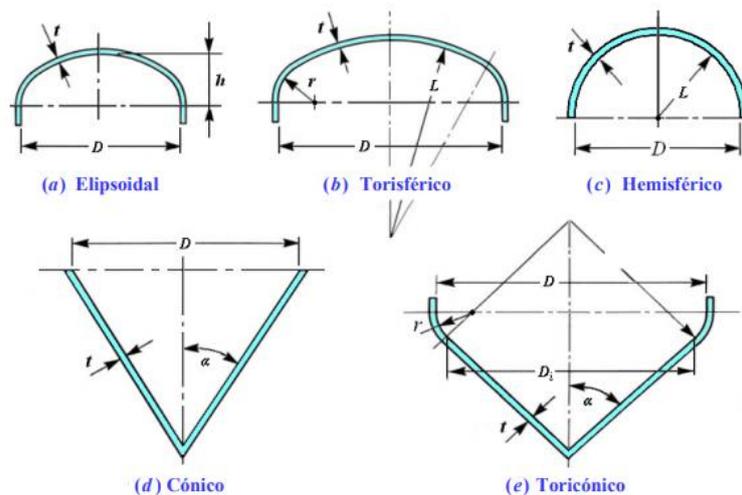


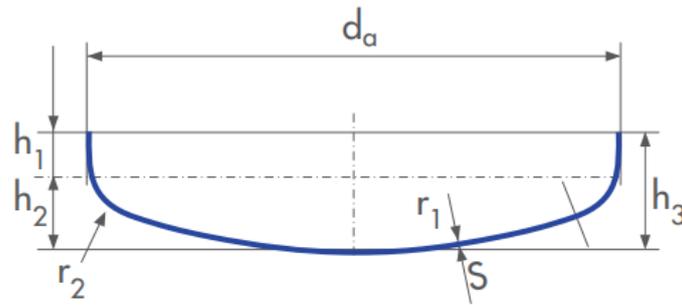
Figura 8.1.5.2. Tipos de fondos

En la práctica, los más usados son los de tipo toriesféricos (también llamados semielípticos) por ser los que mejor se adaptan en un amplio rango de presiones y por presentar un precio bajo con buenas calidades.

Los más conocidos son los Korbogen y los Koppler, ambos muy similares con la diferencia de que los Koppler se recomiendan para medias presiones y los Korbogen para altas.

Para este proyecto se opta por un fondo toriesférico tipo Koppler según DIN 28011 (**fig. 8.1.5.3**) por emplear una presión media (3,5 bar). Con motivo de reducir costes de diseño y fabricación, se decide emplear el mismo tipo tanto para el fondo como el cabezal de la columna.

■ TORISPHERICAL HEADS ACC. TO DIN 28011



$$\begin{aligned} r_1 &= d_a \\ r_2 &= 0,1d_a \\ h_1 &= 3,5s \text{ or acc. to your specification} \\ h_2 &= 0,1935d_a - 0,455s \\ h_3 &= h_1 + h_2 \end{aligned}$$

Figura 8.1.5.3. Geometría fondo Koppler

Donde:

- d_a es el diámetro externo (mm)
- r_1 es el radio esférico interior (mm)
- r_2 es el radio rebordeado interior (mm)
- h_1 es la altura de la pestaña (mm)
- h_2 es la altura de la flecha (mm)
- h_3 es la altura total (mm)
- S es el espesor (mm)

El cálculo dimensional del fondo se detalla en el anexo 2, quedando resumidos en la **tabla 8.1.5.1.**

Tabla 8.1.5.1. Especificaciones diseño fondo

Geometría fondo Koppler	
d _a (mm)	884,9
r ₁ (mm)	884,9
r ₂ (mm)	88,49
h ₁ (mm)	28
h ₂ (mm)	167,59
h ₃ (mm)	195,6

8.1.6 ACCESORIOS DE LA COLUMNA

Tras el dimensionado de la estructura de la torre, es necesario especificar los accesorios que se requieren para una columna con dos lechos de relleno ya que son de vital importancia para prevenir el mal funcionamiento de la torre con posibles problemas de canalización o arrastres de líquido por la cabeza de la columna. A continuación, se detallan los accesorios que se han elegido para la columna.

➤ Distribuidor de líquido

Son necesarios para una buena repartición del líquido a lo largo del relleno y así evitar que haya secciones sin mojar o que se produzca inundaciones en la columna. Actualmente los diseños han sido mejorados y permiten que haya una mínima permanencia del líquido en la torre, además de reducir la posibilidad de ensuciamiento y permitir una baja pérdida de presión del gas. Para la columna objeto del presente proyecto se selecciona un distribuidor de la marca RVT Process Equipment modelo M150KK con un alimentador en H modelo M155H (**fig. 8.1.6.1**).

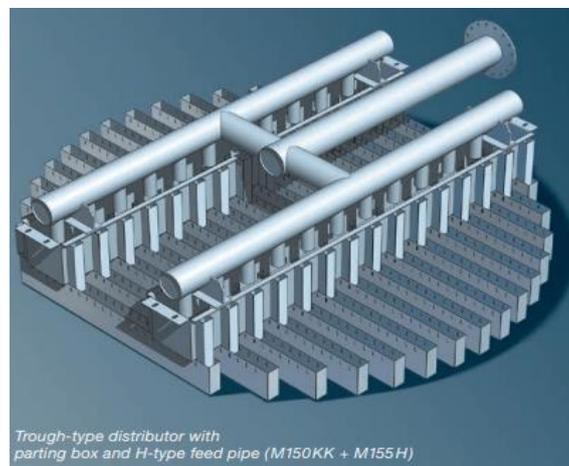


Figura 8.1.6.1. Distribuidor líquido marca RVT Process Equipment

➤ Colector de líquido

Se hace uso de un colector después del primer lecho para recoger el líquido e introducirlo en otro distribuidor del mismo modelo que el anterior. Es recomendable emplear un colector ya que homogeniza el líquido para a ser redistribuido en el siguiente lecho. Se selecciona el modelo 611 de la marca Koch-Glitsch (**fig. 8.1.6.2**).



Figura 8.1.6.2. Colector marca Koch-Glitsch

➤ Distribuidor gas

Tanto el líquido como el gas han de ser distribuidos priorizando un buen contacto entre ambos y a lo largo de todo el relleno para obtener una elevada separación. Se opta por un distribuidor modelo Shell Schoepentoeter™ proporcionado por la empresa Sulzer (**fig. 8.1.6.3**).



Figura 8.1.6.3. Distribuidor gas marca Sulzer.

➤ Soporte del relleno

Cada relleno necesita tener una placa de soporte que estará situada en la parte inferior de cada lecho y que ha de soportar el peso en condiciones de funcionamiento. Además, debe ser capaz de tener un área grande para que los fluidos circulen libremente pero que pueda retener el relleno sin posibilidad de escapes. Se seleccionan dos soportes de la marca Koch-Glitsch modelo 802 (**fig. 8.1.6.4**).



Figura 8.1.6.4. Soporte relleno marca Koch-Glitsch

➤ Eliminador de niebla

Debido a problemas de arrastre de líquido por parte del gas, se selecciona un eliminador de niebla que va colocado en la parte superior de la columna con el objetivo de eliminar las posibles gotas de MDEA en la corriente de biogás. Se selecciona un eliminador modelo M960 de la marca RVT Process Equipment (**Fig. 8.1.6.5**).



Figura 8.1.6.5. Eliminador niebla marca RVT Process Equipment

8.2 RESUMEN DEL DISEÑO DE LA COLUMNA ABSORCIÓN

A continuación, se resumen en la **tabla 8.2.1** las especificaciones del diseño de la columna y los accesorios que la componen, obteniendo así un valor aproximado de la altura total de 11 metros. Los cálculos que procedan quedan detallados en los anexos, como ya se ha explicado anteriormente.

Tabla 8.2.1. Resumen características columna absorción

DIMENSIONES COLUMNA	
Diámetro interno (m)	0,8689
Espesor envolvente (m)	0,008
Diámetro externo (m)	0,8849
Altura lechos (m)	9,47
Distancia entre lechos (m)	0,20
Altura fondos Koppler (m)	0,3912
Accesorios	
Altura distr. M150KK (m)	0,36
Altura colector 611 (m)	0,14
Altura soporte 802 (m)	0,10
Altura distr. Shell (m)	0,12
Altura elim. Niebla M960 (m)	0,10
Relleno	Intalox saddle 38 mm
Presión de diseño (bar)	2,237
Temperatura de diseño (°C)	66
ALTURA TOTAL (m)	
10,97 ≈ 11	

8.3 INTERCAMBIADOR AMINA-AMINA Y COMPLEMENTARIO

Con el diseño de la torre de relleno finalizada, se continua con la selección del intercambiador de calor entre la amina rica que sale del absorbedor, y la amina pobre que sale de la torre regenerativa. Para no desviar el objetivo del proyecto que es el de diseñar una torre de relleno para absorber el CO₂, solamente se seleccionará el equipo conveniente con las especificaciones de diseño. Se realizan cálculos sencillos en el anexo 3 sobre las dimensiones del intercambiador.

El empleo de un intercambiador en los procesos de lavado con aminas sirve para recuperar la energía de la disolución pobre que sale de la torre de regeneración, y precalentar la disolución rica que sale del absorbedor para introducirse en el stripper y liberar el CO₂. Además, como la disolución en la torre de regeneración debe alcanzar entre 100 y 150°C se reduce el coste de vapor vivo necesario para la operación.

Después de este primer intercambio, es habitual necesitar otro intercambiador para enfriar la corriente líquida a la entrada del absorbedor hasta su temperatura de operación. Normalmente se emplea agua como refrigerante porque es una materia prima accesible y económica.

El intercambiador que se propone para este sistema es de coraza y haz de tubos porque es adecuado cuando se trabaja con grandes caudales y se requiere de una buena transferencia de calor entre ambos fluidos, y por ser ampliamente usados en la industria química y afines. Consta de una coraza cilíndrica y en su interior un haz de tubos fijos, donde los extremos se encuentran sobre una placa de tubos que permite esa separación de fluidos entre la coraza y el interior de los tubos. El funcionamiento es sencillo, uno de los fluidos se hace pasar por el interior de los tubos y el otro a través de ellos y de la coraza. Normalmente se colocan deflectores (desviadores) en el interior de la coraza para redirigir el fluido que circula por el exterior (**fig 8.3.1**).

Las distintas configuraciones hacen que sea muy versátil y adaptable, en este caso se opta por un diseño en de placa de tubos fijos o, también llamado espejo fijo, que contiene dos placas unidas a la coraza que sirven de soporte para los tubos. Son los más económicos y sencillos de diseñar a pesar de presentar cierto inconveniente para limpiar los tubos.

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

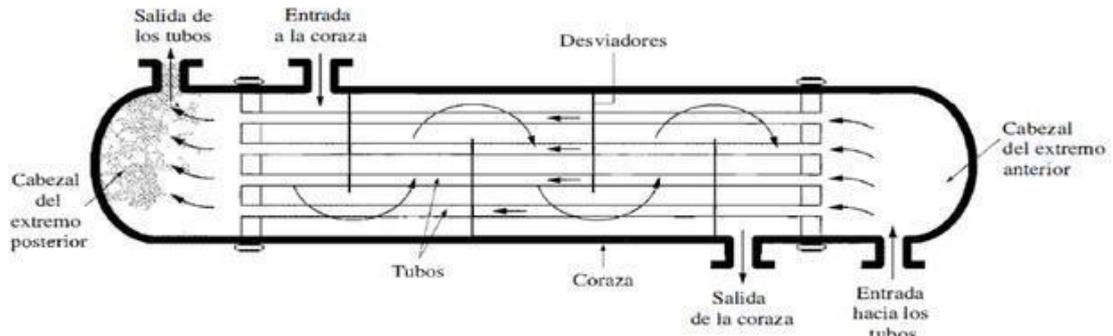


Figura 8.3.1. Intercambiador de coraza y haz de tubos. Fuente: Research Gate

A modo de resumen, se decide seleccionar el modelo CPS-(CP-Estándar) de la marca FUNKE (fig. 8.3.2) diseñado según la norma TEMA tipo BEW (fig. 8.3.3), que asegura una buena relación precio/rendimiento y es adaptable a superficies de intercambio de 0,47 m² a 104,02 m².

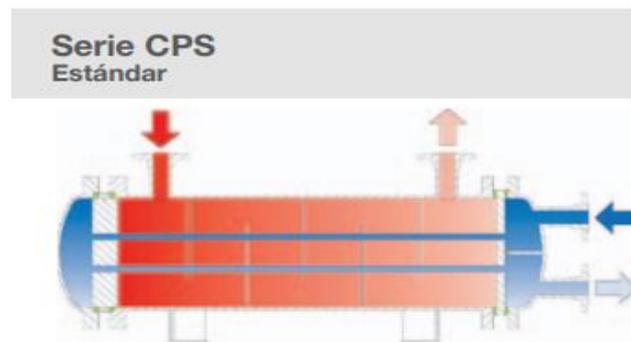


Figura 8.3.2. Intercambiador de calor marca FUNKE



Figura 8.3.3. Diseño IC según las normas TEMA

8.4 COLUMNA DE REGENERACIÓN

Después de precalentar la disolución de amina rica en CO₂ en el 1º intercambiador, se introduce en una columna de regeneración para separar el gas ácido de la corriente y recircularla de nuevo al 1º IC. En el interior es necesario que se alcancen temperaturas entre 110 y 132°C a presiones atmosféricas para que se produzca la desabsorción de la amina sin degradarla térmicamente. Este aporte de calor se consigue mediante un hervidor con vapor vivo que es introducido por la parte inferior de la columna y que arrastra consigo el CO₂.

El líquido se introduce por la cabeza de la columna y cae a través del relleno o de un plato a otro, y el gas que se introduce por la parte inferior asciende a través de los orificios formando burbujas por el contacto gas-líquido. El gas, junto con parte del vapor, sale por la cabeza de la columna y se introduce en un condensador que enfría el gas ácido y condensa el vapor para su posterior recirculación (**fig. 8.4.1**).

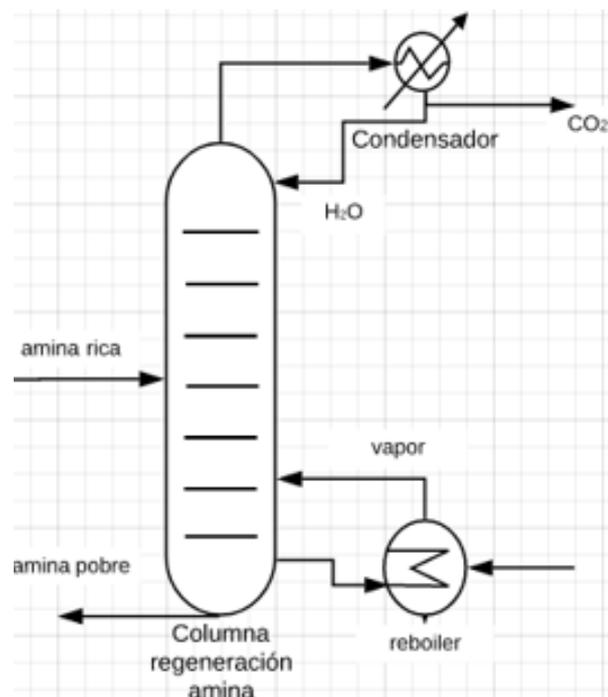


Figura 8.4.1. Esquema columna regeneración

Este proceso es muy importante porque permite recuperar la amina utilizada y recircularla al absorbedor, reduciendo así los costes de materia prima. El CO₂ recuperado puede emitirse a la atmosfera pagando un precio por tonelada emitida, o almacenarse a presión en un tanque siguiendo la normativa MIE-APQ 5 para una posible revalorización posterior.

En este caso, al igual que para los intercambiadores, no se realiza un diseño en detalle de la columna de regeneración porque se no considera un equipo de importancia en el proceso que debe ser analizado y diseñado de forma exhaustiva, además de no ser el objetivo final del proyecto. Por lo tanto, es importante recalcar que las dimensiones que se toman para la columna son de carácter orientativo porque no presentan una base de cálculo. Se decide contactar con un fabricante externo que construirá la columna con los requisitos necesarios.

Para la selección del equipo, se toma en consideración el frecuente uso de las columnas de platos para este tipo de aplicaciones, considerándose una buena alternativa ya que permite un buen equilibrio entre fases y, además, permite el manejo de disoluciones con sólidos en suspensión como es el caso debido a las sales formadas por la reacción entre el CO₂ y la MDEA. El tipo de plato que se propone como solución inicial son los de válvulas, ya que el sistema trabaja con caudales pequeños y existe el riesgo de que el líquido pudiese fluir por el interior del orificio si éste no tiene cierre.

8.5 DESHIDRATACIÓN DEL BIOMETANO

El gas tratado que sale por la cabeza de la columna habitualmente está saturado de agua que, al ser sometido a un incremento de presión o una disminución de la temperatura, condensa a agua líquida. Para cumplir con los requisitos de calidad del biometano para vehículos y evitar los problemas que supone, el biometano requiere de un proceso de deshidratación.

El agua líquida en el combustible provoca efectos negativos tanto en los procesos de tratamiento como en el transporte y consumo. Entre ellos está la formación de hidratos de gas (compuestos cristalinos) al combinarse el agua líquida con el metano a elevadas presiones, provocando la obstrucción de conducciones y equipos. Otro problema grave que se produce es la generación de compuestos ácidos por la presencia de CO₂ y H₂S, que corroen y reducen la vida útil de las tuberías y los equipos. A parte de estos problemas, la condensación del agua puede ocasionar acumulaciones en los puntos bajos de la conducción, provocando la disminución de la capacidad de flujo y un aumento de la caída de presión.

En cuanto a la calidad del producto final, la presencia de agua provoca una reducción de la capacidad calorífica del combustible.

Los métodos de deshidratación más habituales se exponen a continuación.

➤ Enfriamiento directo.

Consiste en eliminar parcialmente el agua mediante el aumento de la presión o disminuyendo la temperatura. Para evitar posteriores condensaciones, el gas debe enfriarse hasta la temperatura de compresión (15°C). Normalmente se añaden inhibidores de hidratos.

➤ Absorción física

Consiste en una absorción física que emplea un disolvente desecante para captar el agua del gas. Habitualmente se emplean glicoles como absorbentes, siendo el trietilen glicol (TEG) el más usado por su facilidad de regeneración, su elevada temperatura de descomposición (207°C) y por presentar menores pérdidas de evaporación y menores costes de inversión que otros.

➤ Adsorción física

Consiste en la adhesión de las moléculas de agua a la superficie del desecante mediante un proceso de equilibrio en el que, a una presión parcial y a una temperatura, hay una concentración de equilibrio en la superficie del sólido. A pesar de presentar inconvenientes como la necesidad de emplear dos o más lechos, o estar contraindicado para eliminar grandes cantidades, la adsorción del agua es mucho más efectiva que en el proceso de absorción. Normalmente se emplean adsorbentes como el gel de sílice, la alúmina activada o los tamices moleculares (zeolitas).

Para este proyecto se opta por enfriar el biometano a la salida de la columna de absorción mediante un intercambiador tubular de la empresa Sacome, recomendado para aplicaciones de condensación de gases (**fig. 8.5.1**). El cálculo del área de intercambio se detalla en el anexo 3.



Figura 8.5.1. Intercambiador tubular marca Sacome.

8.6 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DEL BIOMETANO

Tras la deshidratación del gas, el biometano se debe comprimir hasta una presión de 250 bar a 15°C y almacenado en botellas diseñadas conforme la norma UNE EN ISO 11439 “Botellas a alta presión para el almacenamiento a bordo de vehículos automóviles de gas natural utilizado como combustible”. Sin embargo, la normativa que hace referencia a los requisitos mínimos que deben cumplir las botellas es la normativa UNE 26525 “Inspección de la instalación y verificación de las bombonas a alta presión para el almacenamiento de gas natural utilizado como combustible en los vehículos de carretera”.

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

Las bombonas seleccionadas son de acero con capacidad de 175 litros por botella que se inyectan y almacenan en estantes de la empresa Kromschroede (**fig. 8.6.1**), y luego son transportados mediante un tráiler acondicionado por carretera hasta la estación de servicio, lo que se denomina gasoducto virtual (**fig. 8.6.2**). Para el transporte del combustible se decide contactar con la empresa Galileo Technologies, con contenedores MAT de 1500 Nm³ de capacidad.



Figura 8.6.1. Botellas GNC



Figura 8.6.2. Transporte gasoducto virtual

8.7 EMPLAZAMIENTO

La ubicación física de la instalación será en la EDAR de Almazora, cerca de la carretera CV-18, situada en la provincia de Castellón de la Plana.

En la **figura 8.7.1** se muestra la vista en satélite a nivel nacional.



Figura 8.7.1. Ubicación EDAR vista satélite nivel nacional

En la **figura 8.7.2** se muestra la vista en satélite a nivel provincial.

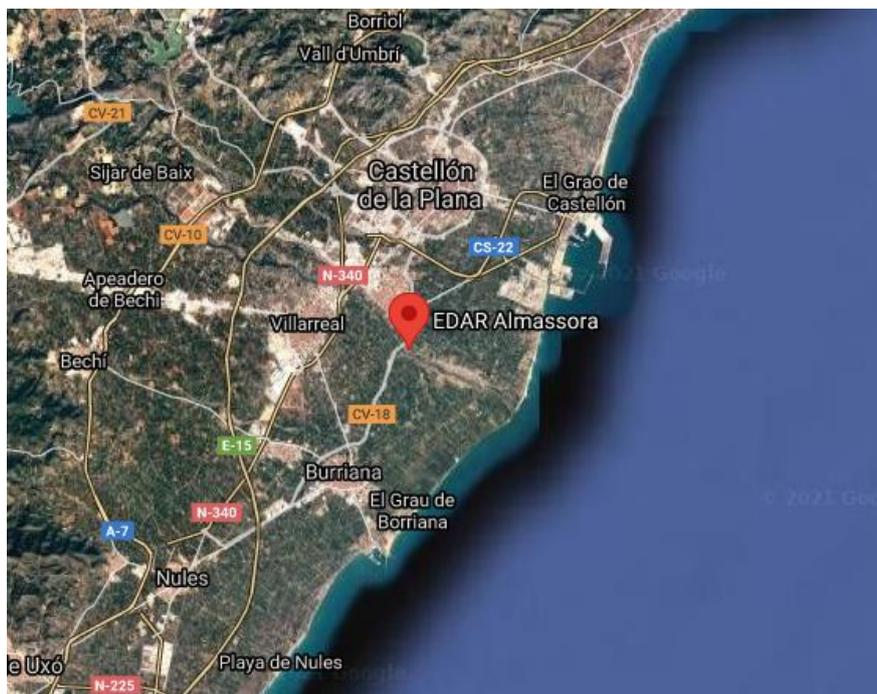


Figura 8.7.2. Ubicación EDAR vista satélite nivel provincial

Por último, se muestra la vista de la depuradora en detalle en la **figura 8.7.3**.



Figura 8.7.3. Vista detalle EDAR Almazora

9. PLANIFICACIÓN

La planificación del proyecto se realiza con el programa Gantter. Para ello, se definen las actividades que se llevarán a cabo y la duración aproximada de cada una de ellas, teniendo en cuenta las relaciones de prioridad entre cada tarea. En la **tabla 9.1** se detallan las diferentes actividades y el período de duración en días.

Tabla 9.1. Planificación del proyecto.

Nombre	Duración	Inicio	Fin	Predecesoras
Entrega y aceptación del proyecto	10días	09/29/2021	10/12/2021	
Preparación de la zona de la instalación	7días	10/13/2021	10/21/2021	1
Obra civil de los equipos	90días	10/22/2021	02/24/2022	2
Instalación equipos auxiliares	30días	02/25/2022	04/07/2022	3
Instalación de conducciones y sistemas de bombeo	25días	04/08/2022	05/12/2022	4
Instalación eléctrica y fontanería	10días	05/13/2022	05/26/2022	5
Automatización	10días	05/27/2022	06/09/2022	6
Pruebas técnicas y puesta en marcha	25días	06/10/2022	07/14/2022	7

En total, se estima una duración de 207 días laborales, con una jornada de 8 horas diarias durante 5 días a la semana. Esta estimación se realiza teniendo en cuenta los posibles retrasos que pueden darse como son las condiciones meteorológicas o retrasos en la recepción de materiales y equipos. La fecha estimada para que se inicie el proyecto es el 29 de septiembre de 2021 y la fecha final es del 14 de julio de 2022.

A continuación, en la **figura 9.1** se muestra el diagrama de Gantt con la planificación de todas las actividades y su duración.

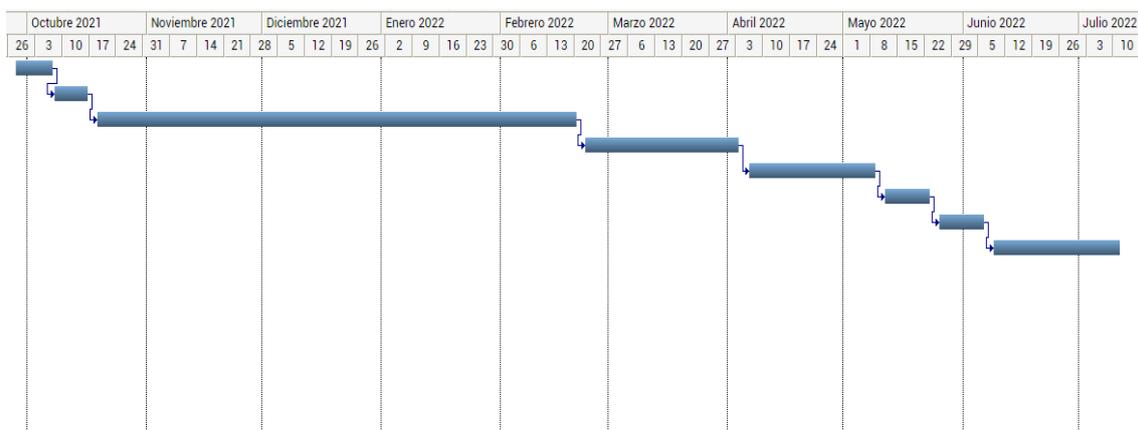


Figura 9.1. Diagrama de Gantt.

10. ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

En función de la norma UNE 157001:2014 (Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico) se establece el orden prioritario entre los documentos que componen el proyecto de la siguiente forma:

1. Índice
2. Memoria
3. Anexos
4. Planos
5. Pliego de condiciones
6. Estado de mediciones
7. Presupuesto

11. ESTUDIO ECONÓMICO Y VIABILIDAD

El estudio de la viabilidad económica de un proyecto permite conocer la rentabilidad de un proyecto a través de indicadores financieros, concluyendo con la toma de decisiones sobre la aceptación o el rechazo del proyecto.

11.1 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

En la **tabla 11.1.1** se resumen las partidas que componen el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), detalladas en el documento nº7 del proyecto.

Tabla 11.1.1. PEM

Partida	Precio total (€)
Equipo principal	485.850,00
Equipos auxiliares	894.391,40
Instrumentación	10.527,66
Conducciones y accesorios	12.732,59
Obra civil e instalaciones	8.450,00
Mano de obra	207.036,21
Estudio Seguridad y Salud	9.388,05
PEM	1.628.375,91

Tras obtener el PEM, se calcula el Presupuesto de Ejecución por contrata (PEC) que es el resultante de sumarle al PEM un 13% en concepto de gastos generales y un 6% por el beneficio industrial obtenido. En la **tabla 11. 1.2** se muestra el PEC obtenido.

Tabla 11.1.2. PEC

	Precio total (€)
PEM	1.628.375,91
Gastos Generales	211.688,87
Beneficio Industrial	97.702,55
PEC	1.937.767,34

Finalmente, se obtiene el presupuesto total añadiéndole el 21% de IVA al PEC. En la **tabla 11.1.3** se expone el presupuesto total del proyecto.

Tabla 11.1.3. Presupuesto total

PRESUPUESTO TOTAL	Precio total (€)
PEC	1.937.767,34
IVA 21%	406.931,14
TOTAL	2.344.698,48

11.2 PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN

El presupuesto de explotación hace referencia al coste de la inversión inicial de la instalación más los gastos totales (directos e indirectos) durante su funcionamiento.

11.2.1 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial del proyecto “*Diseño de un sistema de absorción de CO₂ de un biogás para dar biometano para uso vehicular*” resulta del valor de **2.344.698,48€**, correspondiente al PEC + IVA (**tabla 11.2.1.1**).

11.2.2 GASTOS DIRECTOS

Los gastos directos son los que dependen directamente de la producción, es decir, las materias primas y la electricidad necesaria para que el sistema pueda operar en las condiciones diseñadas por un período de un año.

➤ Coste eléctrico

Debido al bajo consumo energético del lavado químico con aminas, para el cálculo del coste anual de electricidad de la instalación se toma en consideración solamente el consumo que realizan las bombas y los compresores.

Se considera que los equipos trabajan en continuo, es decir, las 24 horas al día durante 330 días, tomando un periodo de 30 días para posibles trabajos de mantenimiento. Teniendo en cuenta que el precio por kWh de uso industrial varía según la franja horaria,

se realiza una media entre los tres valores fijando el precio en 0,09422 €/kWh. En la **tabla 11.2.2.1** muestra el gasto eléctrico anual.

Tabla 11.2.2.1. Coste eléctrico

Energía eléctrica	Cantidad (kWh/año)	Precio unitario (€/kWh)	Total (€/año)
	1.944.748,08	0,09422	183.234,16

➤ Coste materia prima

A continuación, en la **tabla 11.2.2.2** se especifican las cantidades anuales de cada materia prima empleada y el coste total, teniendo en cuenta el precio unitario de cada una de ellas. Cabe destacar que la cantidad de vapor es un valor aproximado que se toma como referencia de otras instalaciones similares.

Se considera que el gasto del agua de refrigeración y del vapor se producen durante el periodo de funcionamiento, es decir, 24 horas durante 330 días. Sin embargo, la cantidad de MDEA y agua desmineralizada se toman como fijos anualmente porque se trata de un proceso cíclico que aprovecha la disolución de MDEA.

Tabla 11.2.2.2. Gastos directos

	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total (€/año)
Agua	m ³ /año	123.552,00	0,45	56.006,12
Agua destilada	kg	10.907,09	2,25	24.540,95
MDEA	kg	7.271,39	2,50	18.178,48
Vapor de agua	m ³ /año	200.000,00	0,85	170.000,00

➤ Coste gestión de residuos

Dentro de los costes directos se engloba también el coste de la gestión de residuos de la instalación. Para fijar estos gastos, se toma como referencia la planta de tratamiento de biogás de las Dehesas y se estima un gasto de unos 145.000€ de gestión de residuos.

➤ Transporte

El transporte del combustible se realiza por carretera en tráileres con 4 contenedores de 1.500 Nm³ de capacidad, por lo tanto, teniendo en cuenta que la producción diaria es de 39.948,25 Nm³, se fijan cuatro transportes al día hasta la estación de servicio. Considerando que cada trayecto cuesta aproximadamente 350 € y que se realizarán durante los 365 días del año, se estima que el coste del transporte es de unos 462.000 €.

➤ Coste de oportunidad del biogás

Como se ha comentado en la memoria, la corriente de biogás viene previamente tratada porque el actual uso que se le da es en un motor de cogeneración. Para estimar el coste que supone adquirir el biogás, se toma como referencia el coste de producción según un estudio realizado por la organización IRENA (International Renewable Energy Agency), por un valor de 0,26 €/m³. En total, el coste de producción de biogás asciende a 4.942.080,00 €.

En resumen, se obtiene un total de **6.001.039,71 €** anuales en concepto de gastos directos.

11.2.3 AMORTIZACIONES

La amortización hace referencia a la pérdida del valor económico de los bienes materiales a lo largo de su vida útil.

Para calcular la amortización, se debe tener en cuenta el coste total de la instalación (equipos y elementos) y un período de vida útil, fijado en 10 años.

$$\text{Amortización} = \frac{2.344.698,48 \text{ €}}{10} = 234.469,85 \text{ €}$$

La amortización en un año es de **234.469,85 €**.

11.2.4 GASTOS INDIRECTOS

Se consideran gastos indirectos aquellos que no están ligados directamente con la producción, sino que se producen de manera continuada incluso cuando instalación no está operativa. En este caso, se consideran gastos indirectos los salarios de los trabajadores, las paradas por mantenimiento/limpieza y el alumbrado.

Como la planta funciona las 24 horas, será necesario cinco operarios que trabajarán a turnos de 8 horas, y un supervisor que trabajará 8 horas diarias. Cada operario recibirá una retribución anual de 18.000€ y el supervisor de 25.000€, por lo tanto, el coste de los salarios será de 115.000 €/año.

En cuanto a las paradas por mantenimiento y limpieza, se estima que los gastos sean de alrededor de 110.000 €/año, mientras que el gasto por alumbrado se puede aproximar a unos 3.500€/año. Se incluye un concepto de “Otros” de un 5% del total para solventar gastos imprevistos, licencias, pruebas de laboratorio, etc.

En la **tabla 11.2.4.1** se resumen los datos de los gastos indirectos.

Tabla 11.2.4.1. Gastos indirectos

Concepto	Total (€/año)
Personal	115.000,00
Mantenimiento	110.000,00
Alumbrado	3.500,00
Otros	23.148,49
Amortización	234.469,85
TOTAL	486.118,34

En total se obtiene un valor de **486.118,34€** anuales en concepto de gastos indirectos.

11.2.5 GASTOS TOTALES

Los gastos totales se obtienen del sumatorio entre los gastos directos y los indirectos, alcanzando un valor de **6.487.158,05 €/año**.

11.2.6 INGRESOS

Antes de calcular los ingresos de la venta del combustible, es necesario convertir los metros cúbicos de gas a unidades de energía (kWh). Asumiendo que cada m³ corresponde a un Poder Calorífico Inferior (PCI) de 10,83 kWh (tomando como referencia el gas natural), y conociendo la cantidad de metano presente en la corriente (98%) se calculan los kWh de biometano producido al año.

$$\begin{aligned} 1527,53 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 330 \frac{\text{días}}{\text{año}} &= \frac{12.098.037,6 \text{ Nm}^3}{\text{año}} \cdot 10,83 \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} \cdot 0,98 \\ &= 128.401.312,3 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} = 128.401,31 \text{ MWh/año} \end{aligned}$$

El coste de producción de un MWh es el siguiente:

$$\frac{6.487.158,05 \text{ €/año}}{128.401,31 \text{ MWh/año}} = 50,52\text{€/MWh}$$

Habiendo consultado precios en el mercado del gas y teniendo en cuenta que el biometano tiene una Garantía de Origen, el precio de venta que se estima para el MWh es de aproximadamente 60 €. Por lo tanto, multiplicando el precio por el biometano producido se obtienen los ingresos totales durante 1 año.

$$128.401,31 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \cdot \frac{60 \text{ €}}{\text{MWh}} = 7.704.078,6 \text{ €}$$

11.2.7 BENEFICIO BRUTO

El cálculo del beneficio bruto (antes de impuestos) se realiza restando los ingresos y los gastos totales por año, durante un período total de 10 años y considerando una subida del IPC (Índice General de Precios de Consumo) del 1,43 % anual, considerando la variación de los últimos cinco años. En la **tabla 11.2.7.1** se reflejan los resultados del beneficio bruto en 10 años.

Tabla 11.2.7.1. Beneficio bruto anual

Año	Ingresos (€)	Gastos totales (€)	Beneficios brutos (€)
2022	7.704.078,60	6.487.158,05	1.216.920,55
2023	7.814.246,92	6.579.924,41	1.234.322,51
2024	7.925.990,65	6.674.017,33	1.251.973,32
2025	8.039.332,32	6.769.455,78	1.269.876,54
2026	8.154.294,77	6.866.259,00	1.288.035,78
2027	8.270.901,19	6.964.446,50	1.306.454,69
2028	8.389.175,08	7.064.038,09	1.325.136,99
2029	8.509.140,28	7.165.053,83	1.344.086,45
2030	8.630.820,99	7.267.514,10	1.363.306,88
2031	8.754.241,73	7.371.439,55	1.382.802,17

11.2.8 BENEFICIO NETO

El beneficio neto total se obtiene restando al beneficio bruto los impuestos para sociedades, considerándose un 25% del valor del beneficio bruto. En la **tabla 11.2.8.1** se muestran los beneficios netos obtenidos en diez años.

Tabla 11.2.8.1. Beneficio neto anual

Año	Beneficios brutos (€)	Beneficios netos (€)
2022	1.216.920,55	912.690,41
2023	1.234.322,51	925.741,88
2024	1.251.973,32	938.979,99
2025	1.269.876,54	952.407,41
2026	1.288.035,78	966.026,83
2027	1.306.454,69	979.841,02
2028	1.325.136,99	993.852,74
2029	1.344.086,45	1.008.064,84
2030	1.363.306,88	1.022.480,16
2031	1.382.802,17	1.037.101,63

11.2.9 FLUJO DE CAJA

El Flujo de Caja (FC) representa el flujo económico de entrada y salida de una empresa por un periodo determinado. Para el cálculo, se deben tener en cuenta los beneficios netos y las amortizaciones de los equipos por un tiempo de 10 años. En la **tabla 11.2.9.1** se muestra el FC anual por diez años.

Tabla 11.2.9.1. Flujo de Caja anual

Año	Beneficios netos (€)	Amortizaciones (€)	Flujo de caja (€)
2022	912.690,41	234.469,85	1.147.160,26
2023	925.741,88	237.822,77	1.163.564,65
2024	938.979,99	241.223,63	1.180.203,62
2025	952.407,41	244.673,13	1.197.080,54
2026	966.026,83	248.171,96	1.214.198,79
2027	979.841,02	251.720,81	1.231.561,83
2028	993.852,74	255.320,42	1.249.173,16
2029	1.008.064,84	258.971,50	1.267.036,34
2030	1.022.480,16	262.674,80	1.285.154,96
2031	1.037.101,63	266.431,05	1.303.532,68

11.2.10 Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto (VAN) hace referencia al índice de rentabilidad de un proyecto, es decir, al valor económico que tiene la empresa sin contar con la inversión inicial. Se calcula mediante la siguiente ecuación (**ec. M.4**):

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1 + i_r)^n} \quad (M.4)$$

Donde el i_r es el interés real del préstamo y se calcula teniendo en cuenta un interés nominal i_n del 3 % mediante la **ecuación M.5**. El IPC corresponde al Índice General de Precios de Consumo) del 1,43 %.

$$i_r = \frac{i_n}{IPC} = \frac{3}{1,43} = 2,09 \% \quad (M.5)$$

Pueden darse tres resultados posibles sobre el VAN:

- VAN < 0: el proyecto no resulta rentable en un determinado periodo de tiempo.
- VAN = 0: el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.
- VAN > 0: el proyecto es rentable, las ganancias superan los costes por lo que se producen excedentes.

En la **tabla 11.2.10.1** se muestran los resultados teniendo en cuenta $I_0= 2.344.698,48 \text{ €}$ y un periodo de $n=10$ años.

Tabla 11.2.10.1. Valor Actual Neto (VAN)

Año	Flujo de caja (€)	$(1+i_r)^n$	$\frac{FC_n}{(1+i_r)^n}$
2022	1.147.160,26	1,021	1.123.675,44
2023	1.163.564,65	1,042	1.116.411,01
2024	1.180.203,62	1,064	1.109.193,54
2025	1.197.080,54	1,086	1.102.022,73
2026	1.214.198,79	1,109	1.094.898,29
2027	1.231.561,83	1,132	1.087.819,90
2028	1.249.173,16	1,156	1.080.787,27
2029	1.267.036,34	1,180	1.073.800,10
2030	1.285.154,96	1,205	1.066.858,11
2031	1.303.532,68	1,230	1.059.960,99
VAN = 8.546.898,56 €			

11.2.11 TASA INTERNA DE RETORNO

La Tasa Interna de Retorno (TIR) de un proyecto hace referencia a la tasa de interés que ofrece una inversión, es decir, la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Se entiende que un proyecto es altamente rentable cuando la TIR es superior al interés nominal (3%). En la **tabla 11.2.11.1** se observa los resultados de igualar la **ecuación M.4** a cero, obteniendo una TIR de un valor cercano al 49,33%.

Tabla 11.2.11.1. Valor Actual Neto (VAN)

i_r (%)	VAN (€)
5,00	7.051.957,29
10,00	5.092.935,78
12,00	4.480.806,49
16,00	3.471.672,65
20,00	2.682.883,13
30,00	1.334.868,41
35,00	876.635,88
40,00	511.019,95
45,00	214.352,72
49,33	149,11
50,00	-30.035,62

En la **figura 11.2.11.1** se observa la representación del VAN en función del interés real (i_r), donde se comprueba que para este proyecto se obtiene una rentabilidad del 49,33%, un porcentaje muy por encima del interés nominal (3%) y que, por lo tanto, se puede afirmar que el proyecto es altamente rentable y una muy buena oportunidad de inversión.

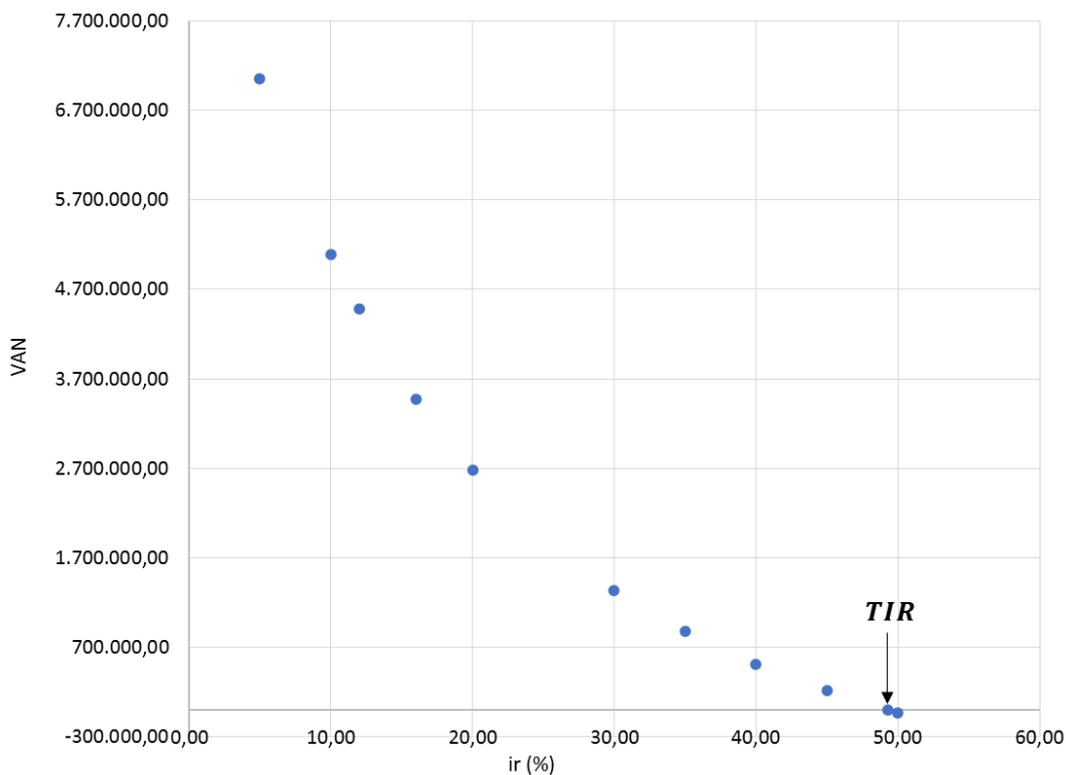


Figura 11.2.11.1. Representación VAN en función de la TIR

11.2.12 PERIODO DE RETORNO

El Periodo de Retorno (PR) se entiende como el periodo, en años, en el que se tarda en recuperar la inversión inicial del proyecto.

Es un indicador de la liquidez del proyecto, que se calcula con la **ecuación M.6**

$$PR = \frac{\textit{Inversión inicial}}{\textit{FC promedio anual}} = \frac{2.344.698,48}{1.223.866,68} = 1,92 \textit{ años} \approx 1 \textit{ año y 11 meses}$$

Con todos los indicadores de rentabilidad expuestos, se concluye que el proyecto presenta una alta rentabilidad dado que la tasa interna de rentabilidad es elevada (49,33%) y el periodo para recuperar la inversión total ronda los dos años.

3. ANEXOS

ÍNDICE

1. ANEXO I: ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CORRIENTES	1
1.1. DIAGRAMA DEL PROCESO	1
1.2. ESQUEMA DE LA COLUMNA DE RELLENO	2
1.3. CARACTERÍSTICAS BIOGÁS.....	3
1.4. CARACTERÍSTICAS MDEA.....	3
2. ANEXO II: DISEÑO DE LA COLUMNA DE RELLENO	7
2.1. BALANCES DE MATERIA	7
2.2. BALANCES DE ENERGÍA.....	11
2.3. CÁLCULO DEL DIÁMETRO	15
2.4. CÁLCULO DE LA ALTURA DE RELLENO.....	17
2.5. CÁLCULO DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DE DISEÑO	19
2.6. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE.....	20
2.7. DISEÑO DEL FONDO.....	22
2.8. ALTURA TOTAL DE LA COLUMNA.....	23
3. ANEXO III: SELECCIÓN INTERCAMBIADORES DE CALOR	24
3.1. PRIMER INTERCAMBIADOR.....	24
3.2. SEGUNDO INTERCAMBIADOR.....	27
3.3. INTERCAMBIADOR GAS-LÍQUIDO.....	28
4. ANEXO IV: DISEÑO DE LAS CONDUCCIONES, BOMBAS Y COMPRESORES	31
4.1. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LAS TUBERÍAS.....	31
4.2. EQUIPOS DE IMPULSIÓN.....	38
4.2.1. Procedimiento de cálculo de la pérdida de carga	38
4.2.2. Procedimiento cálculo de la potencia de los compresores	54
5. ANEXO 5: INSTRUMENTACIÓN	62
6. ANEXO 6: CATÁLOGOS.....	72

1. ANEXO I: ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CORRIENTES

En este anexo se detallan, de forma esquemática, el diagrama del proceso que se lleva a cabo, así como las características de las corrientes del proceso y el cálculo de la cantidad de disolución necesaria para absorber el dióxido de carbono.

1.1. DIAGRAMA DEL PROCESO

En la **figura 1.1.1** se muestra el diagrama del proceso de absorción que se lleva a cabo y de la presurización del biometano para su posterior venta. Consiste en una columna de absorción, un intercambiador de calor amina pobre/amina rica, un enfriador de la amina a la entrada de nuevo en la torre y una columna de regeneración para el sistema de absorción. Tras depurar el gas, se requiere de un enfriador para condensar el agua presente en el gas depurado además de la compresión final del biometano.

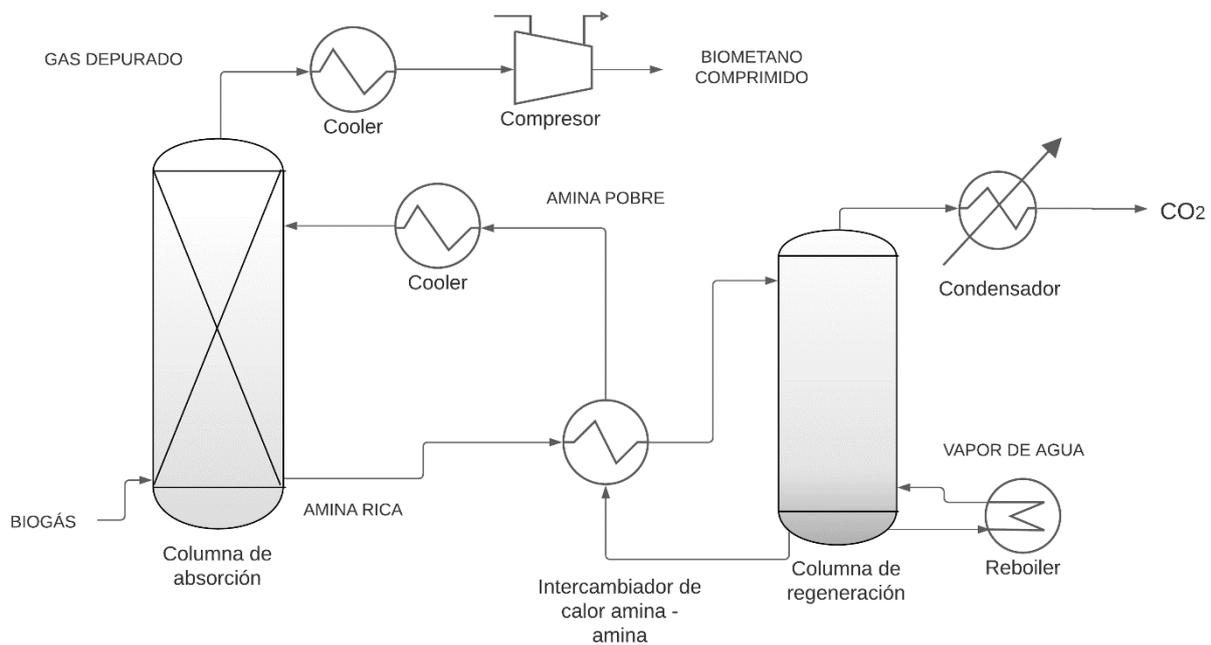


Figura 1.1.1. Diagrama de proceso de la instalación.

Sin embargo, se procede a realizar un diseño más simplificado del proceso, centrándose en la torre de absorción y, de forma menos detallada, en los equipos auxiliares como son bombas y compresores y los intercambiadores para las aminas. Dado que el proyecto se centra en la torre de absorción y diseñar otra torre no se considera como objetivo principal, se opta por seleccionar una torre de regeneración a través de los distintos proveedores que existen en el mercado en función de los requisitos de la instalación.

1.2. ESQUEMA DE LA COLUMNA DE RELLENO

A continuación, en la **figura 1.2.1** se detalla el esquema de la columna de relleno y sus corrientes de entrada y salida, así como la nomenclatura que se hace uso en los cálculos siguientes.

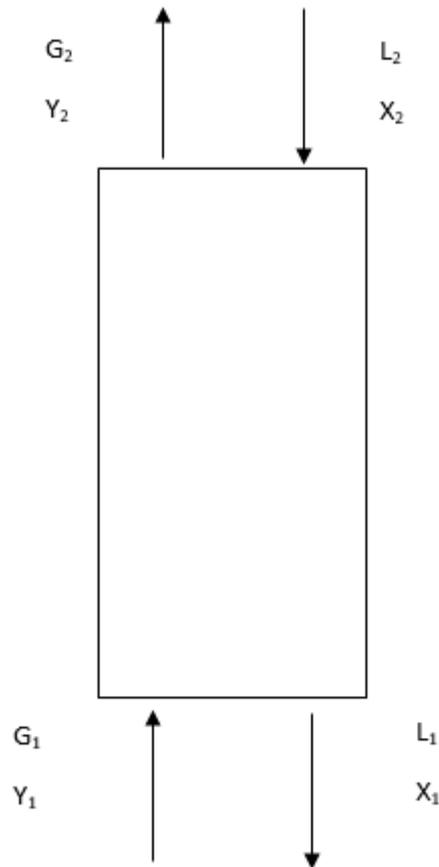


Figura 1.2.1. Esquema básico columna de absorción

Donde:

- G_1 y G_2 son los caudales de gas a la entrada y a la salida de la torre respectivamente (kmol/h)
- L_1 y L_2 son los caudales de líquido a la salida y a la entrada de la torre respectivamente (kmol/h)
- X_1 y X_2 son las razones molares de soluto en la fase líquida en la entrada y salida de la torre respectivamente
- Y_1 y Y_2 son las razones molares de soluto en la fase gaseosa en la entrada y salida de la torre respectivamente

1.3. CARACTERÍSTICAS BIOGÁS

La corriente de biogás que se va a depurar tiene un tratamiento previo de eliminación de contaminantes y de agua, por lo que se considera que está compuesta de metano (65,81% peso) y dióxido de carbono (34,17 % peso), el resto son compuestos minoritarios que no intervienen en el proceso.

Conociendo los pesos moleculares y la fracción molar de cada compuesto en la mezcla que se muestran en la **tabla 1.3.1**, se puede calcular el peso molecular medio del biogás mediante la **ecuación A.1**, para conocer posteriormente el caudal molar a tratar.

Figura 1.3.1. Fracciones molares y pesos moleculares de los compuestos del biogás

Compuesto químico	Facción molar	PM (g/mol)
METANO (CH ₄)	0,6581	16,042
DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	0,3417	44,01

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

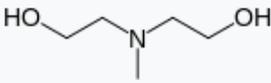
De este modo, se obtiene un peso molecular medio de 25,595 g/mol.

1.4. CARACTERÍSTICAS MDEA

En este apartado se exponen las características más significativas de la metildietanolamina empleada, además de detallar el cálculo de la cantidad necesaria para absorber el caudal de CO₂.

En la **tabla 1.4.1** se recogen algunas de las características.

Figura 1.4.1. Características físico-químicas de la MDEA

Especificaciones MDEA	
Nombre IUPAC	2,2'-(Methylazanediyldi(ethan-1-ol))
Número CAS	105-59-9
Fórmula estructural	
Fórmula química	C ₅ H ₁₃ NO ₂
Apariencia	líquido incoloro, amarillento
Olor	amoniacal
Masa molar	119,164
Densidad (g/cm ³ a 20°C)	1,042
Punto ebullición (°C a 1 bar)	247,1
Viscosidad dinámica (cP a 40°C)	4

Como se ha explicado en el apartado 8.1.4 de la memoria, la disolución de MDEA está activada con piperazina para acelerar la absorción en la columna y obtener unos resultados favorables. Sin embargo, se considera técnicamente solo la MDEA por carecer de datos bibliográficos de sistemas con MDEA-PZ.

Dada la bibliografía consultada sobre sistemas de absorción con MDEA, la concentración de esta amina varía entre un 30% y un 60% según las necesidades de cada sistema, para este caso se fija un valor de 40% en peso. Por otro lado, también se ha especificado en el apartado 8.1.4 de la memoria la capacidad de carga de la amina variando entre 0,6 y 0,8, llegando incluso, en algunos casos, a una máxima de 1 mol ácido/mol amina debido a su baja corrosividad. Para el sistema, se fija en 0,6 mol para evitar en mayor medida problemas de corrosión ya que la concentración del ácido y de la amina son relativamente altas. Para el cálculo de la cantidad de MDEA necesaria, se hace uso de la siguiente ecuación (**Ec A.2**):

$$\text{Capacidad de carga} \left(\frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol MDEA}} \right) = \frac{G_1 \cdot y_1}{L_2 \cdot x_2} \quad (\text{A. 2})$$

Donde:

- G₁ es el caudal de gas a la entrada de la torre (kmol/h)
- L₂ es el caudal de líquido a la entrada de la torre (kmol/h)
- y₁ es la fracción molar del gas en la corriente G₁
- x₂ es la fracción molar del líquido en la corriente L₂

Si se sustituyen los valores se obtiene:

$$L_2 \cdot x_2 = \frac{G_1 \cdot y_1}{\text{mol CO}_2 / \text{mol MDEA}} = \frac{107,14 \cdot 0,3417}{0,6} = 61,02 \text{ kmol MDEA/h}$$

Una vez se conoce el peso molecular de la amina, se obtiene el caudal másico con la siguiente ecuación (**Ec. A.3**):

$$m_{\text{MDEA}} = PM_{\text{MDEA}} \cdot \text{mol MDEA/h} \quad (\text{A. 3})$$

Si se sustituyen los valores se obtiene:

$$m_{MDEA} = 119,164 \cdot 61,02 = 7.271,39 \text{ kg MDEA/h}$$

A continuación, se procede a calcular la cantidad de agua necesaria para la disolución de MDEA conociendo que la relación es 40% amina-60% agua, mediante la **ecuación A.4**.

$$m_{H_2O} = \frac{3}{2} \cdot m_{MDEA} = \frac{3}{2} \cdot 7271,39 = 10.907,09 \text{ kg agua/h} \quad (\text{A.4})$$

A continuación, se calculan los moles de agua necesarios sabiendo que el peso molecular del agua es 18g/mol con la **ecuación A.5**.

$$\frac{m_{H_2O}}{PM_{H_2O}} = \frac{10.907,09}{18} = 605,95 \text{ kmol}_{H_2O}/h \quad (\text{A.5})$$

Sumando los moles de MDEA y los de agua se obtiene el caudal molar de la corriente L₂

$$L_2 = mol_{MDEA} + mol_{H_2O} = 61,02 + 605,95 = 666,97 \text{ kmol/h}$$

Realizando el mismo procedimiento para el cálculo del peso molecular medio del biogás (**Ec. A1**), se puede obtener el peso molecular de la disolución de MDEA y, con la ecuación A.7, obtener el caudal másico de L₂.

$$PM_{medio\ MDEA} = \sum_{i=1}^n PM_i \cdot x_i = 119,164 \cdot \frac{61,02}{666,97} + 18 \cdot \frac{605,95}{666,97} = 27,26 \frac{g}{mol} \quad (\text{A.1})$$

$$L_2 = caudal\ molar \cdot PM_{medio\ MDEA} = 666,97 \cdot 27,26 = 18.181,60 \text{ kg MDEA/h}$$

Así pues, se obtiene un caudal de disolución de MDEA de **18.181,60 kg/h**.

Por otra parte, para el cálculo de la densidad de la mezcla se dispone a emplear la **ecuación A.6** conociendo las densidades de la MDEA y del agua y sus proporciones.

$$\frac{1}{\rho_{mezcla}} = \frac{x_{MDEA}}{\rho_{MDEA}} + \frac{x_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad (\text{A.6})$$

Si se sustituyen los valores se obtiene:

$$\frac{1}{\rho_{mezcla}} = \frac{0,091}{1042} + \frac{0,909}{1000} = 9,96 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_{mezcla} = \frac{1}{9,96 \cdot 10^{-4}} = 1.003,68 \text{ kg/m}^3$$

De este modo, el valor de la densidad del líquido es de **1.003,68 kg/m³**.

2. ANEXO II: DISEÑO DE LA COLUMNA DE RELLENO

A continuación, se dispone con detalle los cálculos necesarios para definir el diseño de la columna de relleno. Se empieza por caracterizar todas las corrientes de entrada y salida haciendo uso de los balances de materia y energía y de las especificaciones de diseño de la memoria.

Una vez se han definido las corrientes, se procede a detallar el cálculo del diámetro y la altura de la columna mediante las ecuaciones de diseño referentes a la transferencia de materia. Por último, se determinan las condiciones de diseño en cuanto a presión y temperatura y se detallan las características de los accesorios.

2.1. BALANCES DE MATERIA

Antes de plantear los balances de materia de las corrientes restantes, se resumen en la **tabla 2.1.1** y en la **tabla 2.1.2** las características y la composición de las corrientes a la entrada de la columna de absorción, calculadas en el anexo anterior.

Tabla 2.1.1. Características y composición corriente G₁

G ₁	Temperatura (°C)	Presión (bar)	PM (g/mol)	Caudal molar (kmol/h)	Caudal másico (kg/h)
	40	3,5	25,595	107,14	2.743,18
Componentes	CO₂	CH₄	MDEA	H₂O	TOTAL
Caudal molar (kmol/h)	36,61	70,51	0,00	0,00	107,14
Fracción molar, x _i	0,342	0,658	0,00	0,00	0,9998

Tabla 2.1.2. Características y composición corriente L₂

L ₂	Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	PM (g/mol)	Caudal molar (kmol/h)	Caudal másico (kg/h)
	48	1.003,68	27,26	666,97	18.181,60
Componentes	CO₂	CH₄	MDEA	H₂O	TOTAL
Caudal molar (kmol/h)	0,00	0,00	61,02	605,89	666,91
Fracción molar, x _i	0,00	0,00	0,091	0,909	1,00

Para definir la corriente de salida de gas G₂ es necesario conocer la cantidad de soluto que se debe eliminar de la corriente de entrada. Para ello, como se ha expuesto en el apartado 7.2 de la memoria, se debe fijar una concentración final de CO₂ (2% molar) para la corriente de salida que cumpla con los requisitos para uso del biometano como combustible en automóviles. Con la siguiente ecuación (**Ec. A.7**) se obtiene el porcentaje de CO₂ eliminado, pero antes es necesario definir las partes de dicha ecuación.

$$\frac{G'(Y_1 - Y_2)}{G' \cdot Y_1} \cdot 100 = \% CO_2 \text{ eliminado} \quad (A.7)$$

Siendo:

G' el caudal molar del compuesto inerte (kmol/h) a la entrada de la columna

Y₁ e Y₂ las razones molares de la entrada y salida respectivamente

Las razones molares se obtienen con la **ecuación A.8** en la que se emplean las fracciones molares:

$$Y_i = \frac{y_i}{1 - y_i} \quad (A.8)$$

Se aplica la ecuación en la entrada y salida se obtienen los siguientes resultados:

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0,342}{1 - 0,342} = 0,519$$

$$Y_2 = \frac{y_2}{1 - y_2} = \frac{0,02}{1 - 0,02} = 0,020$$

Para el cálculo del caudal del inerte se hace uso de la **ecuación A.9**:

$$G' = \frac{G}{1 + Y_1} = \frac{107,14}{1 + 0,519} = 70,53 \text{ kmol/h} = 0,0196 \text{ kmol/s} \quad (A.9)$$

Con estos datos obtenidos y con la **ecuación A.9** se obtiene el porcentaje recuperado de CO₂:

$$\frac{(0,519 - 0,020)}{0,519} \cdot 100 = 96,15 \% CO_2 \text{ recuperado}$$

Una vez se sabe que la recuperación es del 96,15% es posible conocer la cantidad de CO₂ que se elimina de la corriente G₁ con la **ecuación A.10** y, posteriormente, conocer el caudal molar de la corriente G₂.

$$\frac{\text{moles } CO_2 \text{ iniciales} - \text{moles } CO_2 \text{ finales}}{\text{moles } CO_2 \text{ iniciales}} \cdot 100 = \% \text{ recuperado} \quad (A.10)$$

$$\frac{36,61 - \text{moles } CO_2 \text{ finales}}{36,61} \cdot 100 = 96,15 \rightarrow \text{mol } CO_2 \text{ final}$$

$$= 36,61 - 36,61 \cdot 0,9615 = 1,41 \text{ kmol/h}$$

Por lo tanto, la cantidad que se ha eliminado de CO₂ es la siguiente:

$$\text{mol } CO_2 \text{ inicial} - \text{mol } CO_2 \text{ final} = 36,61 - 1,41 = 35,2 \text{ kmol/h}$$

Finalmente, con la **ecuación A.11** se obtiene el caudal molar G₂.

$$G_2 = G_1 - \text{moles } CO_2 \text{ eliminados} \quad (A.11)$$

$$G_2 = 107,14 - 35,2 = 71,94 \text{ kmol/h}$$

En la **tabla 2.1.3** queda caracterizada la composición de la corriente G₂.

Tabla 2.1.1. Composición corriente G₂

G ₂					
Componentes	CO ₂	CH ₄	MDEA	H ₂ O	TOTAL
Caudal molar (kmol/h)	1,44	70,49	0,00	0,00	71,94
Fracción molar, y _i	0,020	0,980	0,00	0,00	0,9998

La corriente presenta las mismas condiciones de presión y temperatura que la corriente G₁.

Se procede a calcular el caudal en las condiciones de operación y en condiciones normales (T=273 K y P=1,013·10⁵ bar) para el posterior cálculo de los ingresos en el apartado 11.2.6 de la memoria. Las condiciones del biometano finales (tras la compresión) es de 15°C y una presión atmosférica de 1,013·10⁵ bar.

$$71,94 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 16,04 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot \frac{\text{m}^3}{0,657 \text{ kg}} = 1611,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{P \cdot Q}{T} = \frac{P_N Q_N}{T_N} \rightarrow Q_N = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 1611,46 \cdot 273}{288 \cdot 1,013 \cdot 10^5} = 1527,53 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Las características y la composición de la corriente L₁ se obtienen al aplicar balances de materia a la columna. Mediante la **ecuación A.12** se plantea un balance de materia general:

$$E - S + G = A \quad (A.12)$$

Donde:

- E es la entrada de materia al sistema
- S es la salida de materia del sistema
- G es la generación en el sistema por reacciones químicas
- A es la acumulación en el sistema

Si se tiene en cuenta que se trabaja en estado estacionario ($A=0$) y que la generación es despreciable ($G=0$), el balance de materia resulta así:

$$E = S$$

Si se aplica el balance global de materia a la columna de relleno, se obtiene la siguiente ecuación (**Ec. A.13**):

$$G_1 + L_2 = G_2 + L_1 \quad (A.13)$$

Si se despeja la corriente L_1 se obtiene el caudal de líquido a la salida:

$$L_1 = G_1 + L_2 - G_2 = 107,14 + 666,97 - 71,94 = 702,17 \text{ kmol/h}$$

Para conocer la composición de la corriente L_1 es necesario aplicar un balance de materia por componente a la columna mediante la **ecuación A.14**:

$$G_1 \cdot y_1 + L_2 \cdot x_2 = G_2 \cdot y_2 + L_1 \cdot x_1 \quad (A.14)$$

Al despejar x_1 para cada componente, la **ecuación A.14** queda así:

$$x_1 = \frac{G_1 \cdot y_1 + L_2 \cdot x_2 - G_2 \cdot y_2}{L_1}$$

$$CO_2 \rightarrow x_1 = \frac{107,14 \cdot 0,342 + 666,97 \cdot 0 - 7.194 \cdot 0,02}{702,17} = 0,0501$$

$$MDEA \rightarrow x_1 = \frac{107,14 \cdot 0 + 666,97 \cdot 0,091 - 7.194 \cdot 0}{702,17} = 0,0864$$

$$H_2O \rightarrow x_1 = \frac{107,14 \cdot 0 + 666,97 \cdot 0,909 - 7.194 \cdot 0}{702,17} = 0,863$$

En la **tabla 2.1.4** queda caracterizada la corriente L₁.

Tabla 2.1.2. Composición corriente L₁

L ₁					
Componentes	CO ₂	CH ₄	MDEA	H ₂ O	TOTAL
Caudal molar (kmol/h)	35,18	0,00	60,67	605,97	702,17
Fracción molar, x _i	0,0501	0,00	0,0864	0,863	0,9995

Conforme a los datos bibliográficos, las aproximaciones que se toman respecto al diseño y los balances de materia efectuados, las características de las corrientes quedan resumidas en la **tabla 2.1.5**

Tabla 2.1.3. Composición total corrientes

Corriente	Componentes	CO ₂	CH ₄	MDEA	H ₂ O	TOTAL
G ₁	Caudal molar (kmol/h)	36,61	70,51	-	-	107,14
	Fracción molar, y _i	0,342	0,658	-	-	1,000
L ₂	Caudal molar (kmol/h)	-	-	61,02	605,89	666,91
	Fracción molar, x _i	-	-	0,091	0,909	1,00
G ₂	Caudal molar (kmol/h)	1,44	70,49	-	-	71,94
	Fracción molar, y _i	0,020	0,980	-	-	1,000
L ₁	Caudal molar (kmol/h)	35,18	-	60,67	605,97	702,17
	Fracción molar, x _i	0,0501	-	0,0864	0,863	0,9995

2.2. BALANCES DE ENERGÍA

Al tratarse de una absorción con reacción química exotérmica, se genera un aumento de la temperatura en el interior de la columna que, en este caso, no es preocupante dado que la metildietanolamina presenta un calor de reacción bajo.

Para este proyecto se fija una temperatura de entrada de 40°C para el gas y ambas corrientes ya que, según las fuentes bibliográficas, la MDEA permite una elevada temperatura gracias a su baja presión de vapor y, por otro lado, se favorece la absorción de CO₂ a mayores temperaturas. Se desprecian las variaciones de temperatura que puede experimentar el gas a la salida y se considera que el calor generado es absorbido por la amina, provocando el aumento de temperatura que facilitará su posterior regeneración.

El calor de reacción entre ambas especies se toma como un ensayo de absorción de CO₂ por una disolución del 50% de MDEA según la carga fijada para una temperatura de 40°C,

publicado en Elsevier (**fig. 2.2.1**). Se asume el error que se comete al considerar una disolución al 50%, asumiendo que en la práctica este dato es ligeramente menor.

Si se observa el gráfico, se considera una entalpía de reacción de un valor aproximado de **55 kJ/kmol CO₂**, para un sistema 50% en peso de MDEA a una carga fija de 0,6 mol CO₂/mol amina y a 313K.

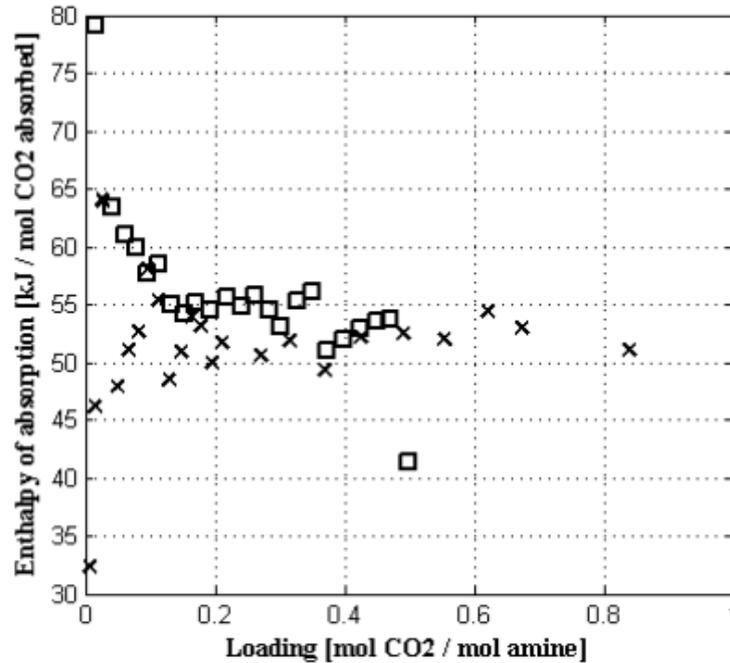


Figura 2.2.1. Entalpía de absorción CO₂ con 50% MDEA para diferentes cargas

Se plantea un balance de energía general con reacción química:

$$S - E + A = G + T$$

Se considera que no hay generación de energía al tratar la columna como un reactor químico ($G=0$) y, se introduce un nuevo término T (transmisión) que implica la transferencia de energía en forma de calor y trabajo (Q^*+W^*). Si se considera despreciable el término W^* y teniendo en cuenta que se trabaja en estado estacionario ($A=0$), el balance de energía resulta así (**ec. A.15**):

$$S - E = Q^* \rightarrow \sum_{j=1}^S F_j \cdot h_j - \sum_{j=1}^S F_{j0} \cdot h_{j0} = Q \quad (A.15)$$

Si se agrupan términos y se simplifica, se obtiene (**ec. A.16**):

$$\Delta H_{reacción}^{\circ} \cdot (G_1 \cdot y_1 - G_2 \cdot y_2) = Q \quad (A.16)$$

Donde:

- $\Delta H^{\circ}_{\text{reacción}}$ es el calor de reacción entre el soluto y el solvente (kJ/kmol CO₂)
- G_1 y G_2 es el caudal molar del gas a la entrada y a la salida, respectivamente (kmol/h)
- y_1 y y_2 es la fracción molar del soluto en la corriente de entrada y salida, respectivamente

Si se sustituyen los datos se obtiene:

$$Q = 55 \cdot (36,61 - 1,44) = 1.934,35 \text{ kJ/h}$$

Si se conoce el calor que absorbe el líquido, se puede conocer el aumento de temperatura que experimenta la corriente líquida a la salida del absorbedor mediante la **ecuación A.17**.

$$Q = -L_2 \cdot C_p^L \cdot (T_2^L - T_1^L) = -G_2 \cdot C_p^G \cdot (T_2^G - T_1^G) \quad (\text{A. 17})$$

Como bien se ha comentado, la variación de temperatura por parte del gas se considera nula, quedando así (**ec. A.17***):

$$Q = L_2 \cdot C_p^L \cdot (T_2^L - T_1^L) \rightarrow T_2^L = \frac{Q}{L_2 \cdot C_p^L} + T_1^L \quad (\text{A. 17 *})$$

Donde:

- L_2 es el caudal molar de la corriente líquida de salida (kmol/h)
- C_p^L es el calor específico de la MDEA (kJ/kg·K)
- T_2^L es la temperatura de salida de la corriente líquida (K)
- T_1^L es la temperatura de entrada de la corriente líquida (K)

El calor específico de la metildietanolamina se obtiene mediante calorimetría de un artículo publicado en el Journal of Chemical and Engineering Data (**fig. 2.2.2**)

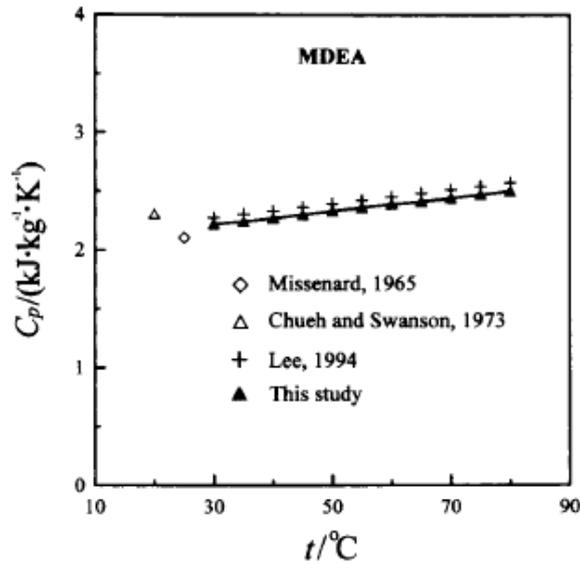


Figura 2.2.2. Calor específico de la MDEA para diferentes temperaturas

Si se observa el gráfico y el estudio del artículo consultado, se obtiene que para una temperatura de 50°C el calor específico es de **2,33 kJ/kg·K**.

Si se sustituye en la **ecuación A.17*** se obtiene la siguiente temperatura de salida:

$$T_2^L = \frac{1.934,35}{666,91 \cdot 2,33} + 321 = 322,24 \text{ K} \rightarrow T_2^L = \mathbf{49,24 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Así pues, se observa que el líquido aumenta su temperatura en 1,24°C a la salida de la torre, apenas un grado por encima de la temperatura de entrada.

2.3. CÁLCULO DEL DIÁMETRO

Como se ha explicado en el apartado 8.5.1 de la memoria del proyecto, para determinar el valor del diámetro se emplea de la gráfica de Lobo (**figura 2.3.1**), la cual permite obtener el diámetro haciendo uso de la velocidad de anegamiento de la columna, fijando siempre unos valores límites que no sobrepasen dicha velocidad.

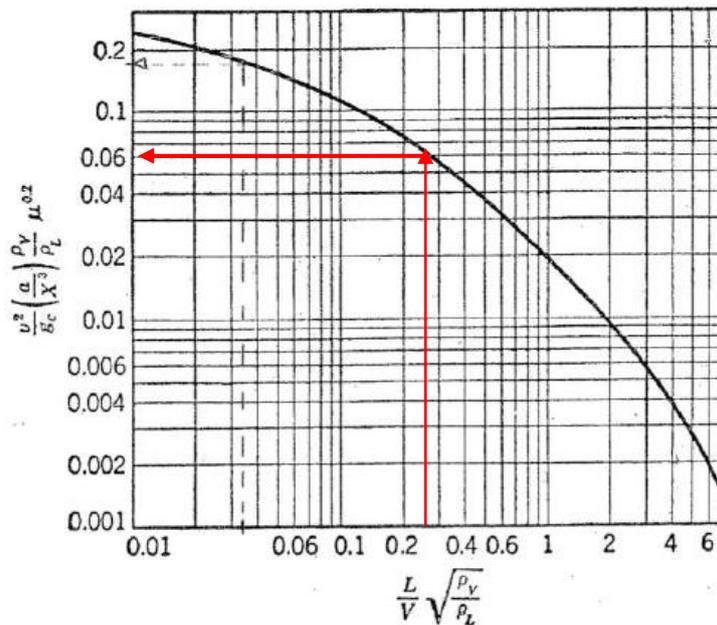


Figura 2.3.1. Gráfica de Lobo

El primer paso es el cálculo del valor del eje de abscisas con la **ecuación A.18**:

$$\frac{L}{V} \cdot \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} \quad (A.18)$$

Donde:

- L es el caudal másico de líquido en la columna (kg/h): 18.181,6
- V es el caudal másico de vapor en la columna (kg/h): 2.743,18
- ρ_V es la densidad del vapor (kg/m³): 1,1464
- ρ_L es la densidad del líquido (kg/m³): 1.003,68

De tal modo que se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{18.181,6}{2.743,18} \sqrt{\frac{1,1464}{1003,68}} = 0,224$$

Trazando la vertical en la gráfica, se obtiene un valor para el eje de ordenadas igual a 0,06 aprox. Si se iguala el valor a la ecuación del eje (**Ec. A.19**) y se considera que la velocidad de funcionamiento es del 60% la velocidad de anegamiento:

$$0,06 = \frac{v^2}{g} \cdot \left(\frac{a}{X^3}\right) \cdot \frac{\rho_V}{\rho_L} \cdot \mu^{0,2} \quad (\text{A. 19})$$

Donde:

- a es la superficie específica del relleno (m²/m³): 178
- X es la fracción de espacio vacío: 0,96
- g es la aceleración de la gravedad (m/s²): 9,8
- ρ_V es la densidad del vapor (kg/m³): 1,1464
- ρ_L es la densidad del líquido (kg/m³): 1.003,68
- μ es la viscosidad del líquido (cP): 4
- v es la velocidad superficial del vapor (m/s)

Se introducen los valores en la **ecuación A.19** se obtiene el valor de la velocidad:

$$v^2 = 0,6 \cdot \frac{0,06 \cdot 9,8 \cdot 0,96^3 \cdot 1.003,68}{178 \cdot 1,1464 \cdot 4^{0,2}} \rightarrow v = 1,12 \text{ m/s}$$

Con el valor de la velocidad, se puede calcular con la **ecuación A.20** la superficie de la columna y, por ende, el diámetro.

$$v = \frac{Q_G}{S} = 1,12 \rightarrow S = 1,12 \cdot \frac{2.400}{3.600} = 0,593 \text{ m}^2 \quad (\text{A. 20})$$

$$S = \frac{\pi}{4} D^2 \rightarrow D = 0,8689 \text{ m} = 86,89 \text{ cm}$$

2.4. CÁLCULO DE LA ALTURA DE RELLENO

Tal y como se ha referenciado en el apartado 8.1.5 de la memoria descriptiva, se ha calculado la altura de la torre con el método de Chilton y Colburn y, por lo tanto, se necesita conocer el coeficiente de transferencia de materia. Debido a la escasa información para sistemas MDEA-CO₂, se opta por escoger el valor del coeficiente para sistemas MEA-CO₂ con condiciones similares al presente proyecto.

Por lo tanto, el procedimiento del diseño se hace en base a las condiciones en las que se obtiene el coeficiente de transferencia, es decir, se emplea el mismo relleno para que los resultados sean lo más veraces posible.

Dicho esto, se procede a exponer el procedimiento seguido para el cálculo de la altura, en concreto, mediante la obtención del NUT y HTU. Existen dos alternativas para el cálculo de la altura: una es empleando los coeficientes individuales de transferencia de materia y las concentraciones en la interfase (**ec. A.21**) y la otra es empleando los coeficientes globales y las concentraciones en el equilibrio (**ec. A.22**), ambas ecuaciones aplicables para los casos en los que los coeficientes de transferencia son constantes.

$$h = H_G \cdot N_G = H_L \cdot N_L \quad (\text{A.21})$$

$$h = H_{GT} \cdot N_{GT} = H_{LT} \cdot N_{LT} \quad (\text{A.22})$$

Como el coeficiente de transferencia aplicado es el global, se emplea la **ecuación A.22**. Para sistemas en los que los coeficientes se pueden considerar constantes y que hacen referencia a la fase gaseosa, el NUT y el HTU corresponden a las **ecuaciones A.23** y **A.24** respectivamente.

$$N_{GT} = \int_2^1 \frac{(1+Y)(1+Y_e)}{(Y-Y_e)} dY \quad (\text{A.23})$$

$$H_{GT} = \frac{G'/S}{K_G a} \quad (\text{A.24})$$

Donde:

- Y e Y_e son las razones molares del gas en el seno y en el equilibrio

- G' es el caudal másico del compuesto inerte (kmol/s)
- S es la superficie de la columna (m²)
- K_G es el coeficiente global de transferencia de materia (kmol/m²·s)
- a es la superficie específica del relleno (m²/m³)

Al considerarse una reacción química instantánea en la fase líquida se pueden aplicar las siguientes simplificaciones:

- La concentración del soluto en la interfase gas-líquido es prácticamente nula en cualquier sección de la columna.
- La transferencia de materia solo se produce en la fase gas ya que el soluto al llegar a la fase líquida reacciona y “desaparece”, por lo que se puede asumir que:

$$Y_i \approx Y_e \approx 0$$

De este modo, se eliminan estas variables en la **ecuación A.23**, se integra y queda de la siguiente manera (**ec. A.25**):

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

Siendo Y₁ e Y₂ las razones molares del gas a la entrada y salida de la columna.

Dada la bibliografía consultada, el coeficiente de transferencia de materia se da en unidades de lb mol/h·ft³·atm por lo que es necesario pasar a unidades del SI, teniendo en cuenta la presión parcial del CO₂ en la mezcla (**ec. A.26**).

$$P_{CO_2} = x_{CO_2} \cdot P = 0,342 \cdot 350 = 119,7 \text{ kPa} \quad (\text{A. 26})$$

$$2,50 \frac{\text{lb mol}}{\text{h ft}^3 \text{ atm}} \cdot 0,1581 = 0,395 \frac{\text{kmol}}{\text{hm}^3 \text{ kPa}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} \cdot 119,7 \text{ kPa} = 0,0131 \text{ kmol/m}^3 \text{ s}$$

En resumen, las ecuaciones para el diseño de la altura quedan definidas en las ecuaciones **A.22** y **A.24** que, junto con las variables calculadas anteriormente, se procede al cálculo de la altura del relleno.

Sabiendo que $G'=0,0196$ y $S=0,593$, se aplica la ecuación **A.24** para el cálculo del HTU:

$$H_{GT} = \frac{G'/S}{K_G a} = \frac{0,0196/0,593}{0,0131} = 2,52 \text{ m}$$

Sabiendo que $Y_1=0,519$ e $Y_2=0,02$, se aplica la ecuación **A.23** para el cálculo del NTU:

$$N_G = N_{GT} = Y_1 - Y_2 + \ln \frac{Y_1}{Y_2} = 0,519 - 0,02 + \ln \frac{0,519}{0,02} = 3,76$$

De modo que la altura se obtiene multiplicando ambos valores y queda así:

$$h = 2,52 \cdot 3,76 = 9,47 \approx 9,5 \text{ m}$$

Por lo tanto, se obtiene un valor de la altura del relleno de 9,5 metros aproximadamente.

2.5. CÁLCULO DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DE DISEÑO

El cálculo de la presión de diseño se realiza teniendo en cuenta la presión hidrostática que aporta el líquido una vez entrado en la torre, por otro lado, se ha de tener en cuenta la presión que ejerce el relleno a pesar de ser un material ligero y, por último, la presión atmosférica. Como medida de seguridad ante posibles variaciones y/o errores de diseño, se aplica un factor de seguridad del 10% a la presión total.

De este modo, mediante la ecuación **A.27** se puede calcular la presión hidrostática del fluido y, de forma análoga, con la ecuación **A.28** la presión que ejerce el relleno.

$$P_{ftuido} = \rho_{ftuido} \cdot g \cdot h \quad (A.27)$$

$$P_{ftuido} = 1.003,68 \cdot 9,8 \cdot 9,5 = 93.442,608 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2 = 0,93443 \text{ bar}$$

$$P_{relleno} = \rho_{relleno} \cdot g \cdot h \quad (A.28)$$

$$P_{relleno} = 92 \cdot 9,8 \cdot 9,5 = 8.565,2 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2 = 0,08565 \text{ bar}$$

Si se consideran ambas presiones junto con la presión atmosférica, se puede calcular la presión de diseño mediante la ecuación **A.29**.

$$P_{diseño} = P_{ftuido} + P_{relleno} + P_{atm} \quad (A.29)$$

Si se sustituyen los datos anteriores se obtiene:

$$P_{diseño} = 0,93443 + 0,08565 + 1,01325 = 2,03 \text{ bar}$$

Aplicando un factor de seguridad del 10% se obtiene:

$$P_{diseño} = 2,03 \cdot 1,1 = 2,237 \text{ bar}$$

Por lo tanto, se obtiene una presión de diseño de **2,237 bar**.

Para el cálculo de la temperatura de diseño se debe tener en cuenta la temperatura de operación de la columna y que se ha fijado anteriormente en 40°C, además de sumarle una temperatura máxima de 20°C por posibles variaciones de temperatura durante el funcionamiento de la columna. Por lo tanto, mediante la **ecuación A.30** se puede calcular la temperatura de diseño de la columna.

$$T_{diseño} = T_{operación} + 20^{\circ}C \quad (A.30)$$

Si se sustituyen los datos se obtiene:

$$T_{diseño} = 40 + 20 = 60^{\circ}C$$

Si se le aplica un factor de seguridad del 10% se obtiene la temperatura de diseño:

$$T_{diseño} = 60 \cdot 1,1 = 66^{\circ}C$$

Por lo tanto, se obtiene una temperatura de diseño de 66°C.

2.6. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE

Para el cálculo del espesor de la capa de material que conforma la torre es importante tener varios aspectos en cuenta, como es la presión de diseño, el tipo de soldadura que se aplica al material, el límite elástico del material y un espesor mínimo ante la posible corrosión.

Como se ha expuesto en el apartado 8.5.1 de la memoria, el cálculo se realiza mediante el código ASME, sección VIII división 1, para el diseño de recipientes sometidos a presión.

Se debe calcular el espesor mínimo del cilindro por esfuerzos circunferenciales (Sc) con la **ecuación A.31**:

$$e = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad (A.31)$$

Y el espesor mínimo por esfuerzos longitudinales (Sl) con la **ecuación A.32**:

$$e = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \quad (A.32)$$

Donde:

- P es la presión de diseño (bar)
- R es el radio de la columna (mm)
- S es el límite elástico (Para el acero A/SA 515 es 2.600 bar)
- E es la eficiencia de las juntas (Doble cordón soldadura examinada por zonas E=0,85)

Si se sustituyen los datos en la **ecuación A.31** se obtiene:

$$e = \frac{2,237 \cdot 434,45}{2.600 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2,237} = 0,440 \text{ mm}$$

Y con la **ecuación A.32** se obtiene:

$$e = \frac{2,237 \cdot 434,45}{2.600 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 2,237} = 0,439 \text{ mm}$$

Se selecciona el mayor de los espesores y con la **ecuación A.33** se obtiene el espesor total, donde C es la tolerancia por corrosión (para acero al carbono mín. 6 mm).

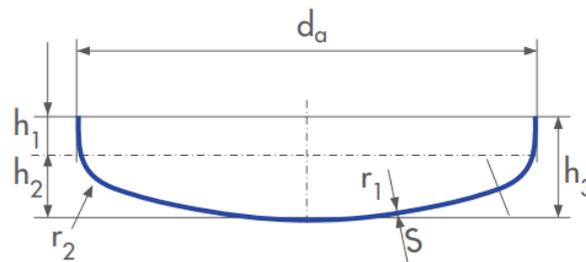
$$e_m = e + C \quad (A.33)$$

Si se sustituyen los datos, se obtiene un espesor de 6,44 mm. Aplicándole un factor de seguridad del 10% por posibles variaciones, se obtiene un espesor final de **7,08 mm**. Se fija en **8 mm** según las tablas normalizadas de chapas de acero.

2.7. DISEÑO DEL FONDO

El diseño del fondo de la columna se realiza según el modelo Koppler, tal y como se ha explicado en el apartado 8.5.1 de la memoria del proyecto. A continuación, se detalla el proceso de cálculo siguiendo las ecuaciones expuestas en la **figura 2.7.1** proporcionadas por la empresa Slawinski, teniendo en cuenta que el espesor es el mismo que el de la envolvente y el diámetro externo es igual al interno más el espesor del material.

■ TORISPHERICAL HEADS ACC. TO DIN 28011



$$\begin{aligned}r_1 &= d_a \\r_2 &= 0,1d_a \\h_1 &= 3,5s \text{ or acc. to your specification} \\h_2 &= 0,1935d_a - 0,455s \\h_3 &= h_1 + h_2\end{aligned}$$

Figura 2.7.1. Especificaciones fondo Koppler

Donde:

- d_a es el diámetro exterior del fondo (mm)
- d_i diámetro interior del fondo (mm)
- r_1 es el radio de bombeado (mm)
- r_2 es el radio de reborde (mm)
- h_1 es la altura de la pestaña (mm)
- h_2 es la altura de la flecha (mm)
- h_3 es la altura total (mm)
- $s = e$ es el espesor del material (mm)

Si se sustituyen los valores de espesor y diámetro en las ecuaciones anteriores, se obtiene que:

$$d_a = d_i + 2 \cdot e = 868,9 + 2 \cdot 8 = 884,9 \text{ mm}$$

$$r_1 = 884,9 \text{ mm}$$

$$r_2 = 0,1 \cdot 884,9 = 88,49 \text{ mm}$$

$$h_1 = 3,5 \cdot 8 \geq 28 \text{ mm}$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot 884,9 - 0,455 \cdot 8 = 167,59 \text{ mm}$$

$$h_3 = 28 + 167,59 = 195,6 \text{ mm} = 0,1956 \text{ m}$$

La altura total de los fondos es de **195,6 mm**.

2.8. ALTURA TOTAL DE LA COLUMNA

Finalmente, con los cálculos detallados y la selección de los accesorios definida, se puede calcular la altura total de la columna. Para el cálculo se tiene en cuenta la altura de los lechos y el espaciado entre ambos, los fondos Koppler y los accesorios. En la **tabla 2.8.1** se resumen las dimensiones de la columna de absorción, con una altura total de aproximadamente **11 metros**.

Figura 2.8.1. Resumen dimensiones columna absorción

DIMENSIONES COLUMNA	
Diámetro interno (m)	0,8689
Espesor envolvente (m)	0,008
Diámetro externo (m)	0,8849
Altura lechos (m)	9,47
Distancia entre lechos (m)	0,20
Altura fondos Koppler (m)	2·0,1956
Accesorios	
Altura distr. M150KK (m)	2·0,18
Altura colector 611 (m)	0,14
Altura soporte 802 (m)	2·0,05
Altura distr. Shell (m)	0,12
Altura elim. Niebla M960 (m)	0,10
ALTURA TOTAL (m)	10,97

3. ANEXO III: SELECCIÓN INTERCAMBIADORES DE CALOR

A lo largo de este anexo se detallan los intercambiadores necesarios en el sistema, uno que se ha propuesto para el sistema amina rica y amina pobre, otro para rebajar la temperatura de la corriente de salida del intercambiador hacia la torre de absorción y el último para enfriar la corriente de biogás enriquecido antes de ser comprimido. Todos los intercambiadores son de tipo coraza y haz de tubos de 1 paso. Para ello, se deben definir las corrientes del IC (intercambiador de calor), realizar un balance de energía y calcular un área preliminar aproximado, considerando las dimensiones de forma orientativa ya que no se realiza un diseño tan detallado y exhaustivo.

3.1. PRIMER INTERCAMBIADOR

➤ Corrientes de entrada del 1º IC

En primer lugar, se nombran las corrientes diferenciando entre el **fluido frío (a)**, aquel que sale del absorbedor y se calienta, y **fluido caliente (b)**, el que sale de la torre de regeneración y se enfría.

Las características de las corrientes vienen en la **tabla 3.1.1**, considerando la temperatura de salida de la torre inferior a la del interior del stripper.

Figura 3.1.1. Características corrientes entrada 1º IC

	FLUIDO A	FLUIDO B
Temp. entrada (°C)	49,24	80
Caudal másico (kg/h)	19.141,15	18.182,15
Cp (kJ/kgK)	2,33 (a 50°C)	2,50 (a 80°C)
Disposición	interior tubos	carcasa

➤ Balance de energía al 1º IC

Una vez definidas las corrientes, se plantea un balance de energía al intercambiador para conocer la temperatura de salida de la amina pobre, es decir, el fluido a que posteriormente entrará en la torre de regeneración.

Conociendo las temperaturas de entrada al IC, se fija la temperatura de salida del fluido b en un valor de 60°C de forma orientativa, necesitando un segundo intercambiador para rebajar su temperatura a 48°C, valor que se fija para la entrada de líquido a la columna de absorción.

A continuación, se expone la expresión del balance de energía que se aplica (ec. A.34).

$$q = m^a C_p^a \cdot (T_{bs}^a - T_{be}^a) = m^b C_p^b \cdot (T_{be}^b - T_{bs}^b) \quad (A.34)$$

Donde:

- m es el caudal másico del fluido (kg/h).
- C_p es el calor específico del fluido (kJ/kgK).
- T_{bs} es la temperatura de salida IC (°C).
- T_{be} es la temperatura de entrada IC (°C).
- q es el flujo de calor (kJ/h).

Sustituyendo por los valores de la **tabla 3.1.1** se obtiene la temperatura de salida del fluido a y el flujo de calor:

$$19141,15 \cdot 2,33 \cdot (T_{bs}^a - 49,24) = 18.182,15 \cdot 2,5 \cdot (80 - 60)$$

$$T_{bs}^a = 69,62 \text{ °C}$$

$$q = 909.107,5 \text{ kJ/h} \rightarrow q = 254,55 \text{ kW}$$

➤ Cálculo del área preliminar 1° IC

Conocidas ya todas las temperaturas de las corrientes, se procede a realizar el cálculo del área preliminar de intercambio y la selección del modelo de intercambiador. Como se ha comentado anteriormente, el diseño del intercambiador no es definitivo porque no se realiza un cálculo detallado, es por ello por lo que se establecen unas medidas aproximadas en base a la bibliografía consultada. Es importante remarcar que las dimensiones del intercambiador están sujetas a variaciones.

Para obtener el área de intercambio, es necesario suponer un coeficiente global de transferencia (U) y realizar el diseño mediante un proceso iterativo hasta considerar como válido el supuesto inicialmente. Se toma de referencia un rango entre 800 y 1500 W/m²K para recuperadores de calor en sistema agua caliente-agua fría (**fig. 3.1.1**). En este caso, se considera como válido un coeficiente global valor de **1000 W/m²K**.

Fluido caliente	Fluido frío	U _{ext} (W/m ² ·K)
<i>Recuperador de calor</i>		
Agua	Agua	800-1500
Solventes orgánicos	Solventes orgánicos	100-300
Aceites ligeros	Aceites ligeros	100-400
Aceites pesados	Aceites pesados	50-300
Gases	Gases	10-50

Figura 3.1.1. Rango coeficientes globales U

Mediante la ecuación de velocidad (**ec. A.35**) se calcula el área preliminar necesaria:

$$q = U \cdot A \cdot (\Delta T)_{ml} \quad (A.35)$$

Donde:

- q es el flujo de calor (kJ/h).
- U es el coeficiente global de transmisión de calor (W/m²K).
- A es el área de intercambio de calor (m²).
- ΔT_{ml} es el incremento de temperatura media logarítmica

Para el cálculo del ΔT_{ml} se hace uso de la siguiente ecuación (**ec. A.36**):

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_{bs}^b - T_{be}^a) - (T_{be}^b - T_{bs}^a)}{\ln \frac{(T_{bs}^b - T_{be}^a)}{(T_{be}^b - T_{bs}^a)}} \quad (A.36)$$

Sustituyendo el valor de las temperaturas, se obtiene ΔT_{ml}.

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(60 - 49,24) - (80 - 69,62)}{\ln \frac{(60 - 49,24)}{(80 - 69,62)}} = 10,569$$

Conocido el valor del incremento, se calcula el área preliminar del primer intercambiador con la **ecuación A.33**:

$$A = \frac{252.529,86}{1.000 \cdot 10,569} = 23,89 \text{ m}^2$$

3.2. SEGUNDO INTERCAMBIADOR

➤ Corrientes de entrada al 2° IC

Para enfriar la corriente de amina pobre que sale del primer intercambiador hasta alcanzar una temperatura de 48°C aproximadamente, se plantea un IC de carcasa y haz de tubos empleando agua como refrigerante a temperatura ambiente.

En la **tabla 3.2.1** se resumen las características de las corrientes de entrada.

Tabla 3.2.1. Características corrientes entrada 2° IC

	AMINA	AGUA
Temp. entrada (°C)	60	20
Caudal másico (kg/h)	18.182,15	15.000,00
Cp (kJ/kgK)	2,44 (a 70°C)	4,18 (a 20°C)
Disposición	carcasa	interior tubos

➤ Balance de energía 2° IC

Para el balance de energía se realiza el mismo procedimiento anteriormente descrito, considerando el agua el fluido frío (a) y la amina el fluido caliente (b).

De este modo, empleando los nuevos datos de la **tabla 3.2.1** y, mediante la **ec. A.34**, se plantea el balance de energía y se obtiene la temperatura de salida del agua y el flujo de calor que se produce:

$$15.000 \cdot 4,18 \cdot (T_{bs}^a - 20) = 18.182,15 \cdot 2,44 \cdot (60 - 48)$$

$$T_{bs}^a = 28,49 \text{ °C}$$

$$q = 532.373,35 \text{ kJ/h} \rightarrow q = 147,88 \text{ kW}$$

Se obtiene una temperatura de salida de **28,49 °C** y un flujo de calor de **147,48 kW**.

➤ Cálculo del área preliminar 2° IC

El área de intercambio se calcula siguiendo el mismo procedimiento del 1° intercambiador, se toma de referencia un rango entre 250 y 750 W/m²K para enfriadores en sistemas de solventes orgánicos (fluido caliente) y agua (fluido frío) (**fig. 3.2.1**). En este caso, se considera como válido un coeficiente global valor de **400 W/m²K**.

<i>Enfriadores</i>		
Solventes orgánicos	Agua	250-750
Aceites ligeros	Agua	350-900
Aceites pesados	Agua	60-300
Gases	Agua	20-300
Solventes orgánicos	Salmuera	150-500
Agua	Salmuera	600-1200
Gases	Salmuera	15-250

Figura 3.2.1. Rango coeficientes globales U

Sustituyendo el valor de las temperaturas en la ecuación **A.36**, se obtiene ΔT_{ml} .

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(48 - 20) - (60 - 35,29)}{\ln \frac{(48 - 20)}{(60 - 35,29)}} = 26,32$$

Conocido el valor del incremento, se calcula el área preliminar del segundo intercambiador con la **ecuación A.35**:

$$A = \frac{147.882,67}{450 \cdot 26,32} = 14,05 \text{ m}^2$$

3.3. INTERCAMBIADOR GAS-LÍQUIDO

➤ Corrientes de entrada IC gas-líquido

Como se ha explicado en el apartado 8.5 de la memoria, el biometano ha de ser enfriado hasta una de temperatura de 15°C (T^a de almacenamiento) para eliminar las gotas de agua presentes en el seno del gas. Para ello se plantea un intercambiador de carcasa y haz de tubos empleando agua fría (10°C) como refrigerante.

En la **tabla 3.3.1** se resumen las características de las corrientes de entrada.

Tabla 3.3.1. Características corrientes entrada IC biometano.

	BIOMETANO	AGUA
Temp. entrada (°C)	40	10
Caudal másico (kg/h)	1153,92	600,00
Cp (kJ/kgK)	2,226 (a 25°C)	4,19 (a 10°C)
Disposición	carcasa	interior tubos

➤ Balance de energía IC gas-líquido

Para el balance de energía se realiza el mismo procedimiento anteriormente descrito, considerando el agua el fluido frío (a) y el gas el fluido caliente (b).

De este modo, empleando los nuevos datos de la **tabla 3.3.1** y, mediante la **ec. A.34**, se plantea el balance de energía y se obtiene la temperatura de salida del agua y el flujo de calor que se produce:

$$600 \cdot 4,19 \cdot (T_{bs}^a - 10) = 1.153,92 \cdot 2,226 \cdot (40 - 15)$$

$$T_{bs}^a = 35,54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q = 642.15,65 \text{ kJ/h} \rightarrow q = 17,85 \text{ kW}$$

Se obtiene una temperatura de salida de **35,54 °C** y un flujo de calor de **17,85kW**

➤ Cálculo del área preliminar IC gas-líquido

El área de intercambio se calcula siguiendo el mismo procedimiento que los descritos anteriormente. Se toma de referencia un rango entre 20-300 W/m²K para enfriadores en sistemas de gases (fluido caliente) y agua (fluido frío) (**fig. 3.3.1**). En este caso, se considera como válido un coeficiente global valor de **200 W/m²K**.

<i>Enfriadores</i>		
Solventes orgánicos	Agua	250-750
Aceites ligeros	Agua	350-900
Aceites pesados	Agua	60-300
Gases	Agua	20-300
Solventes orgánicos	Salmuera	150-500
Agua	Salmuera	600-1200
Gases	Salmuera	15-250

Figura 3.3.1. Rango coeficientes globales U

Sustituyendo el valor de las temperaturas en la ecuación **A.36**, se obtiene ΔT_{ml} .

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(15 - 10) - (40 - 35,54)}{\ln \frac{(15 - 10)}{(40 - 35,54)}} = 4,72$$

Conocido el valor del incremento, se calcula el área preliminar del tercer intercambiador con la **ecuación A.35**:

$$A = \frac{17.850}{200 \cdot 4,72} = 18,91 \text{ m}^2$$

En la **tabla 3.3.2** se resumen las áreas necesarias para los intercambiadores.

Tabla 3.3.2. Áreas intercambiadores de calor

	Área de intercambio (m ²)
1º IC	23,89
2º IC	14,05
IC gas-líquido	18,91

4. ANEXO IV: DISEÑO DE LAS CONDUCCIONES, BOMBAS Y COMPRESORES

En este anexo se procede a detallar las conducciones y realizar todos los cálculos referentes a las conducciones del proceso para obtener las características de cada tubería. Además, se estudia la necesidad de emplear equipos de impulsión en todos los tramos haciendo uso de los balances de energía.

4.1. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LAS TUBERÍAS

A continuación, se definen los tramos del proceso y todos los posibles accidentes, teniendo en cuenta algunas consideraciones para el dimensionado de la tubería.

- Tramo 1: conducción de biogás desde la última unidad de tratamiento hasta la entrada a la columna de absorción.
- Tramo 2: conducción de amina rica desde el absorbedor hasta la entrada al 1º intercambiador por el lado de los tubos.
- Tramo 3: conducción de amina pobre desde la torre de regeneración hacia la entrada al 1º intercambiador por el lado de la coraza.
- Tramo 4: conducción de amina rica desde el primer intercambiador hasta la torre de regeneración.
- Tramo 5: conducción de amina pobre desde el primer intercambiador hasta el segundo.
- Tramo 6: conducción de amina pobre desde el segundo intercambiador hasta la columna de absorción.
- Tramo 7: conducción de metano desde la torre de absorción hasta el enfriador de biometano.
- Tramo 8: conducción de metano desde el enfriador hasta el rack de botellas pasando por el compresor.

En la siguiente figura (**fig. 4.1.1**) se muestra el esquema de la instalación con todas las conducciones.

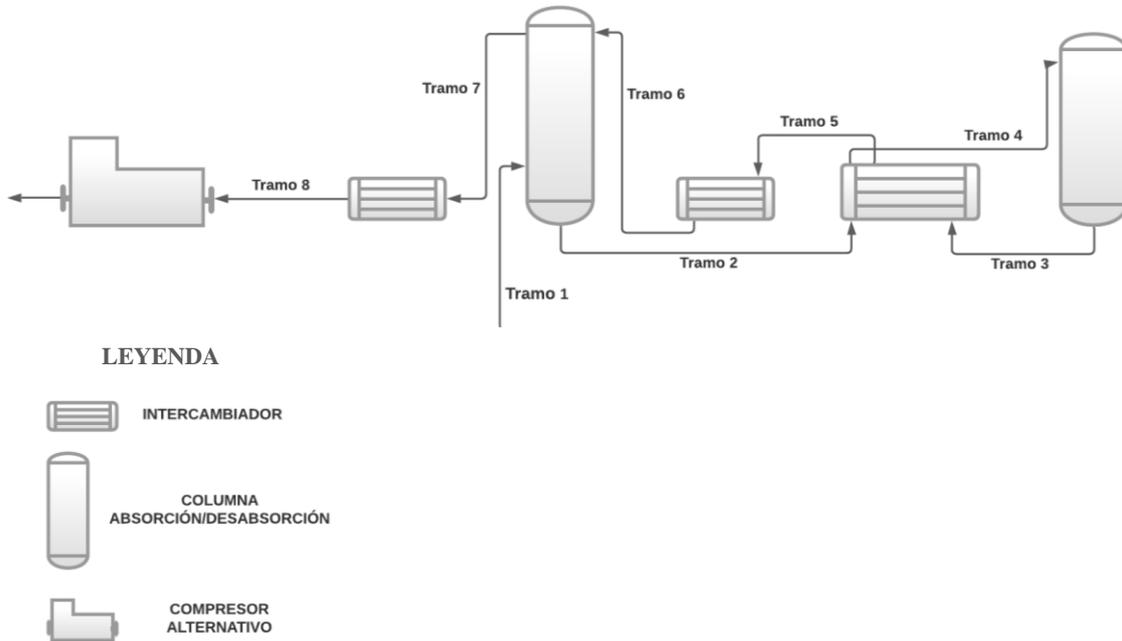


Figura 4.1.1. Esquema de las conducciones

Para el dimensionado de las tuberías, en primer lugar, se debe suponer la velocidad máxima de circulación para poder calcular la sección de la tubería y, posteriormente, su diámetro interno. Algunas velocidades típicas de líquidos y gases se encuentran en la **figura 4.1.2** y la **figura 4.1.3**, respectivamente.

	$D \leq 2''$	$3'' < D < 10''$	$10'' < D < 20''$
<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	—

Figura 4.1.2 Velocidades típicas de líquidos en tuberías de acero (m/s).

Diámetro nominal (pulgadas)	Vapor saturado (baja presión)	Vapor sobrecalentado, o gas (media presión)	Vapor sobrecalentado, o gas (alta presión)
≤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

Figura 4.1.3. Velocidades típicas de gases y vapores por tuberías (m/s)

En segundo lugar, se selecciona el diámetro nominal y el espesor según las dimensiones normalizadas y, finalmente, se calcula la velocidad real del fluido y el diámetro interno real de la tubería.

A continuación, se exponen las ecuaciones para el cálculo de la sección y el diámetro de las tuberías:

$$S = \frac{Q_v}{v} \rightarrow v = \frac{Q_v}{S} \quad (A.37)$$

$$S = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \rightarrow D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad (A.38)$$

$$D_i = D_e - 2 \cdot e \quad (A.39)$$

Donde:

- S es la sección de la tubería (m²)
- Q_v es el caudal volumétrico del fluido (m³/s)
- v es la velocidad del fluido por la conducción (m/s)
- D_i es el diámetro interno de la tubería (m)
- D_e es el diámetro externo de la tubería (m)
- e es el espesor de la tubería (m)

A continuación, se realiza el procedimiento de cálculo para cada uno de los tramos del sistema.

➤ Tramo 1

El caudal del tramo 1 es de 2.400 m³/h (0,667 m³/s) de biogás, considerándose una velocidad de circulación de 22 m/s por una tubería de acero inoxidable.

Si se aplica la **ecuación A.37** se obtiene la sección del tramo 1.

$$S = \frac{0,667}{22} = 0,030 \text{ m}^2$$

Mediante la **ecuación A.38** se obtiene el diámetro interno de la conducción.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,030}{\pi}} = 0,195 \text{ m} = 195 \text{ mm} = 7,67''$$

Según la norma ASME B36.19 se selecciona un diámetro nominal de 8" con un espesor de 2,77 mm y un diámetro externo de 0,2191 m. Con estos datos, se procede a calcular el diámetro interno real mediante la **ecuación A.39**.

$$D_i = 0,2191 - 2 \cdot 2,77 \cdot 10^{-3} = 0,2136 \text{ m} = 213,6 \text{ mm}$$

Con la **ecuación A.38** se obtiene la sección real de la tubería.

$$S = \frac{\pi \cdot 0,2136^2}{4} = 0,036 \text{ m}^2$$

Y, finalmente, se obtiene la velocidad real de circulación mediante la **ecuación A.37**.

$$v = \frac{0,667}{0,036} = 18,52 \text{ m/s}$$

➤ Tramo 2

El caudal del tramo 2 es de 19,07 m³/h (5,3·10⁻³ m³/s) de disolución alcalina, considerándose una velocidad de circulación de 0,7 m/s por una tubería de acero inoxidable.

Si se aplica la **ecuación A.37** se obtiene la sección del tramo 1.

$$S = \frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{0,7} = 7,567 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Mediante la **ecuación A.38** se obtiene el diámetro interno de la conducción.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,567 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,098 \text{ m} = 98 \text{ mm} = 3,86 \text{ ''}$$

Según la norma ASME B36.19 se selecciona un diámetro nominal de 4'' con un espesor de 2,11 mm y un diámetro externo de 0,1143 m. Con estos datos, se procede a calcular el diámetro interno real mediante la **ecuación A.39**.

$$D_i = 0,1143 - 2 \cdot 2,11 \cdot 10^{-3} = 0,11 \text{ m} = 110 \text{ mm}$$

Con la **ecuación A.38** se obtiene la sección real de la tubería.

$$S = \frac{\pi \cdot 0,11^2}{4} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Y, finalmente, se obtiene la velocidad real de circulación mediante la **ecuación A.37**.

$$v = \frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{9,5 \cdot 10^{-3}} = 0,56 \text{ m/s}$$

➤ Tramo 3

El caudal del tramo 3 es de 18,11 m³/h (5,03·10⁻³ m³/s) de disolución alcalina, considerándose una velocidad de circulación de 0,7 m/s por una tubería de acero inoxidable.

Si se aplica la **ecuación A.37** se obtiene la sección del tramo 1.

$$S = \frac{5,03 \cdot 10^{-3}}{0,7} = 7,187 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Mediante la **ecuación A.38** se obtiene el diámetro interno de la conducción.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,187 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,096 \text{ m} = 96 \text{ mm} = 3,78 \text{ ''}$$

Según la norma ASME B36.19 se selecciona un diámetro nominal de 4" con un espesor de 2,11 mm y un diámetro externo de 0,1143 m. Con estos datos, se procede a calcular el diámetro interno real mediante la **ecuación A.39**.

$$D_i = 0,1143 - 2 \cdot 2,11 \cdot 10^{-3} = 0,11 \text{ m} = 110 \text{ mm}$$

Con la **ecuación A.38** se obtiene la sección real de la tubería.

$$S = \frac{\pi \cdot 0,11^2}{4} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Y, finalmente, se obtiene la velocidad real de circulación mediante la **ecuación A.37**.

$$v = \frac{5,03 \cdot 10^{-3}}{9,5 \cdot 10^{-3}} = 0,53 \text{ m/s}$$

➤ Tramo 4

El caudal del tramo 4 es de 19,07 m³/h (5,3 · 10⁻³ m³/s) de disolución alcalina, considerándose una velocidad de circulación de 0,7 m/s por una tubería de acero inoxidable.

Como se observa, el tramo 4 presenta las mismas características que el tramo 2 porque es la corriente de amina que sale del 1° IC precalentada, por lo tanto, se consideran las mismas dimensiones para este tramo.

➤ Tramo 5

El caudal del tramo 5 es de 18,11 m³/h (5,03 · 10⁻³ m³/s) de disolución alcalina, considerándose una velocidad de circulación de 0,7 m/s por una tubería de acero inoxidable.

En este caso, el tramo 5 presenta las mismas características que el tramo 3 porque es la corriente de amina que sale del 1° IC enfriada, por esta razón se consideran las mismas dimensiones para este tramo.

➤ Tramo 6

El caudal del tramo 6 es de 18,11 m³/h (5,03·10⁻³ m³/s) de disolución alcalina, considerándose una velocidad de circulación de 0,7 m/s por una tubería de acero inoxidable.

Del mismo modo, se observa que los tres tramos (3, 5 y 6) presentan las mismas características porque transportan el mismo caudal y a la misma velocidad.

➤ Tramo 7

El caudal del tramo 7 es de 1611,46 m³/h (0,448 m³/s) de biogás enriquecido, considerándose una velocidad de circulación de 22 m/s por una tubería de acero inoxidable.

Si se aplica la **ecuación A.37** se obtiene la sección del tramo 1.

$$S = \frac{0,448}{25} = 0,018 \text{ m}^2$$

Mediante la **ecuación A.38** se obtiene el diámetro interno de la conducción.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,018}{\pi}} = 0,151 \text{ m} = 151 \text{ mm} = 5,9''$$

Según la norma ASME B36.19 se selecciona un diámetro nominal de 6'' con un espesor de 2,77 mm y un diámetro externo de 0,1683 m. Con estos datos, se procede a calcular el diámetro interno real mediante la **ecuación A.39**.

$$D_i = 0,1683 - 2 \cdot 2,77 \cdot 10^{-3} = 0,1627 \text{ m} = 162,7 \text{ mm}$$

Con la **ecuación A.38** se obtiene la sección real de la tubería.

$$S = \frac{\pi \cdot 0,163^2}{4} = 0,021 \text{ m}^2$$

Y, finalmente, se obtiene la velocidad real de circulación mediante la **ecuación A.37**.

$$v = \frac{0,448}{0,021} = 21,31 \text{ m/s}$$

➤ Tramo 8

Este tramo es idéntico al tramo 7, la conducción presenta las mismas características porque se considera el mismo caudal y la misma velocidad de circulación.

En la **tabla 4.1.1** se recogen las especificaciones de diseño de cada tramo diseñado, siendo la empresa Tubinox Tubos Inoxidables S.L la proveedora de las tuberías.

Figura 4.1.1. Características conducciones

Tramo	Q (m ³ /h)	D _N (mm)	e (mm)	D _e (mm)	D _{i,real} (mm)	v _{real} (m/s)	Material
1	2400,00	203,20	2,77	219,1	213,6	18,52	Acero inox. AISI 316
2	19,07	101,60	2,11	114,3	110	0,56	Acero inox. AISI 316
3	18,11	101,60	2,11	114,3	110	0,53	Acero inox. AISI 316
4	19,07	101,60	2,11	114,3	110	0,56	Acero inox. AISI 316
5	18,11	101,60	2,11	114,3	110	0,53	Acero inox. AISI 316
6	18,11	101,60	2,11	114,3	110	0,53	Acero inox. AISI 316
7	1611,46	152,40	2,77	168,3	162,7	21,31	Acero inox. AISI 316
8	1611,46	152,40	2,77	168,3	162,7	21,31	Acero inox. AISI 316

4.2. EQUIPOS DE IMPULSIÓN

Una vez se obtiene el dimensionado de las tuberías necesarias, se procede al estudio de los equipos de impulsión (bombas y compresores) necesarios en el sistema.

Para esta instalación, se considera el planteamiento de los balances de energía teniendo en cuenta diferentes tramos y las pérdidas de carga de los equipos, de ese modo se evita la necesidad de instalar una bomba en cada tramo.

Se realiza un primer balance a los tramos 2 y 4 teniendo en cuenta la pérdida de carga del 1º intercambiador. En segundo lugar, se plantea el balance en los tramos 3 y 5 teniendo en cuenta la misma pérdida de carga del intercambiador amina-amina. Finalmente, se plantea un balance en el tramo 1 para comprimir el biogás a la entrada de la torre y otro para la compresión final del biogás enriquecido.

4.2.1. Procedimiento de cálculo de la pérdida de carga

En primer lugar, se debe aplicar el balance de energía mecánica al sistema para el cálculo de la carga de la bomba mediante la **ecuación A.40**.

$$h_s = (z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2}{2g\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2g\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{\Delta F}{g} = h_B \quad (A.40)$$

Donde:

- h_s es la carga del sistema (m).
- h_B es la carga de la bomba (m)
- z_1 y z_2 son las alturas en la zona inicial y final de la conducción, respectivamente (m).
- v_1 y v_2 son las velocidades en la zona inicial y final de la conducción, respectivamente (m/s).
- g es la gravedad (9,8 m/s²)
- $\alpha = 1$ en régimen turbulento
- P_1 y P_2 son las presiones en la zona de aspiración e impulsión, respectivamente (Pa)
- ρ es la densidad del fluido (kg/m³)
- ΔF es la pérdida de carga total por unidad de masa debido a la fricción (J/kg)

Una vez definida la ecuación del balance de energía, se calcula la pérdida de carga total con la **ecuación A.41**.

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a \quad (A.41)$$

Donde:

- ΔF_r es la pérdida de carga en todos los tramos rectos a causa del rozamiento y turbulencia (J/kg).
- ΔF_a es la pérdida de carga por rozamiento y turbulencia en todos los accidentes del sistema (J/kg).

La pérdida de carga en los tramos rectos se calcula mediante la ecuación de Fanning (**ec. A.42**).

$$\Delta F_r = 2f v^2 \frac{L}{D} \quad (\text{A. 42})$$

Siendo:

- f el factor de fricción de Fanning, valor que se obtiene a partir del gráfico de Moody.
- v la velocidad del fluido (m/s).
- L la longitud de los tramos rectos (m).
- D el diámetro de la tubería (m).

Mientras que la pérdida de carga en los accidentes se puede calcular conociendo las constantes K de los accidentes, mediante la **ecuación A.43**.

$$\Delta F_a = K \frac{v^2}{2} \quad (\text{A. 43})$$

Donde:

- K es la constante específica de cada accidente.
- v es la velocidad del fluido (m/s).

Para obtener el factor de fricción (f) de la gráfica de Moody, es necesario realizar previamente el cálculo del número de Reynolds con la **ecuación A.44** y fijar el valor de la rugosidad relativa (ϵ/D) según el material y el diámetro de la tubería (**fig. 4.2.1.1**).

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{A. 44})$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido (kg/m³)
- v es la velocidad del fluido (m/s).

- D es el diámetro de la conducción (m)
- μ es la viscosidad dinámica del fluido (N·s/m²)

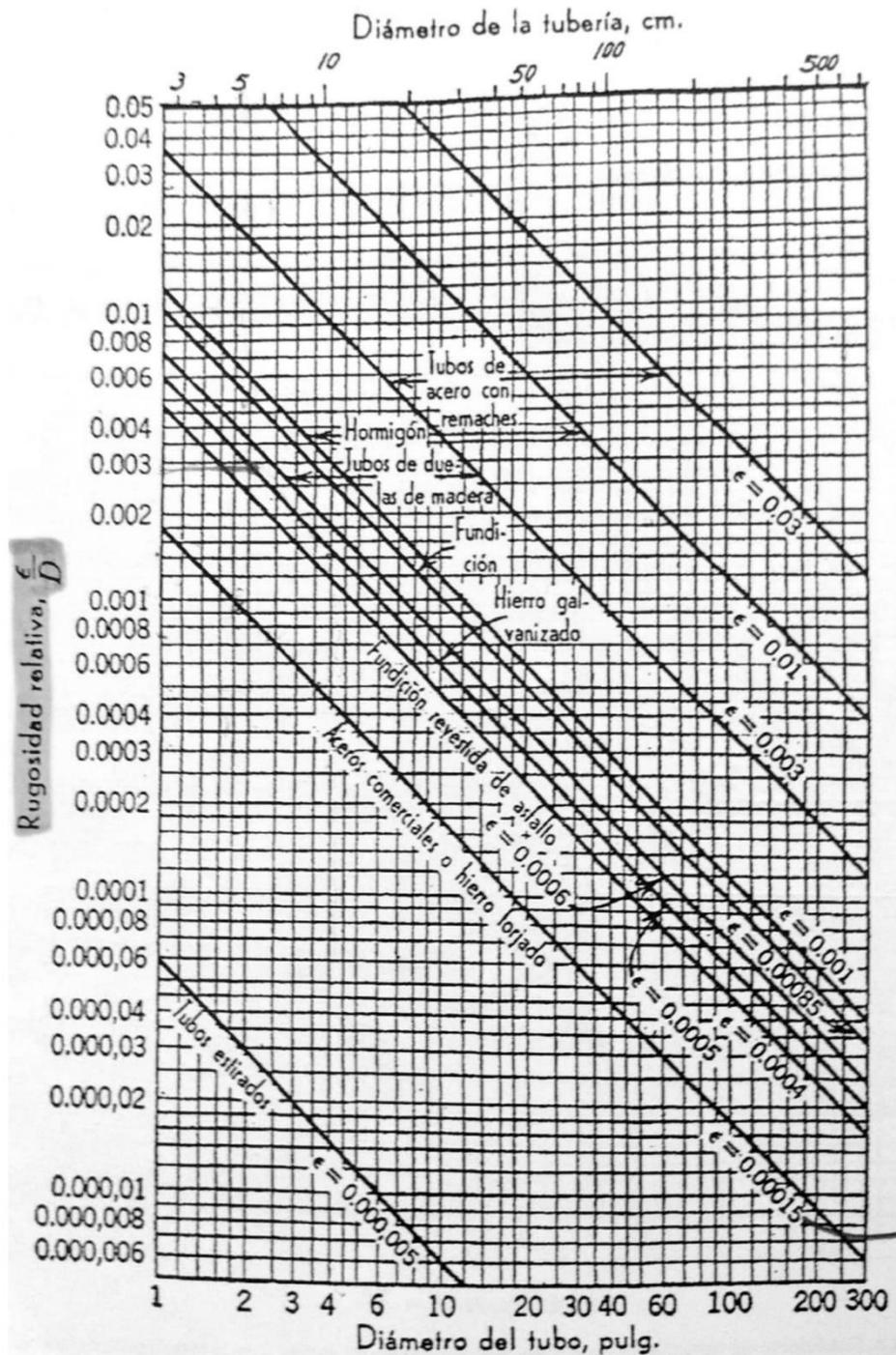


Figura 4.2.1.1. Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de distintos materiales

Con estos datos y el gráfico de Moody (fig. 4.2.1.2) se obtiene el factor de fricción f.

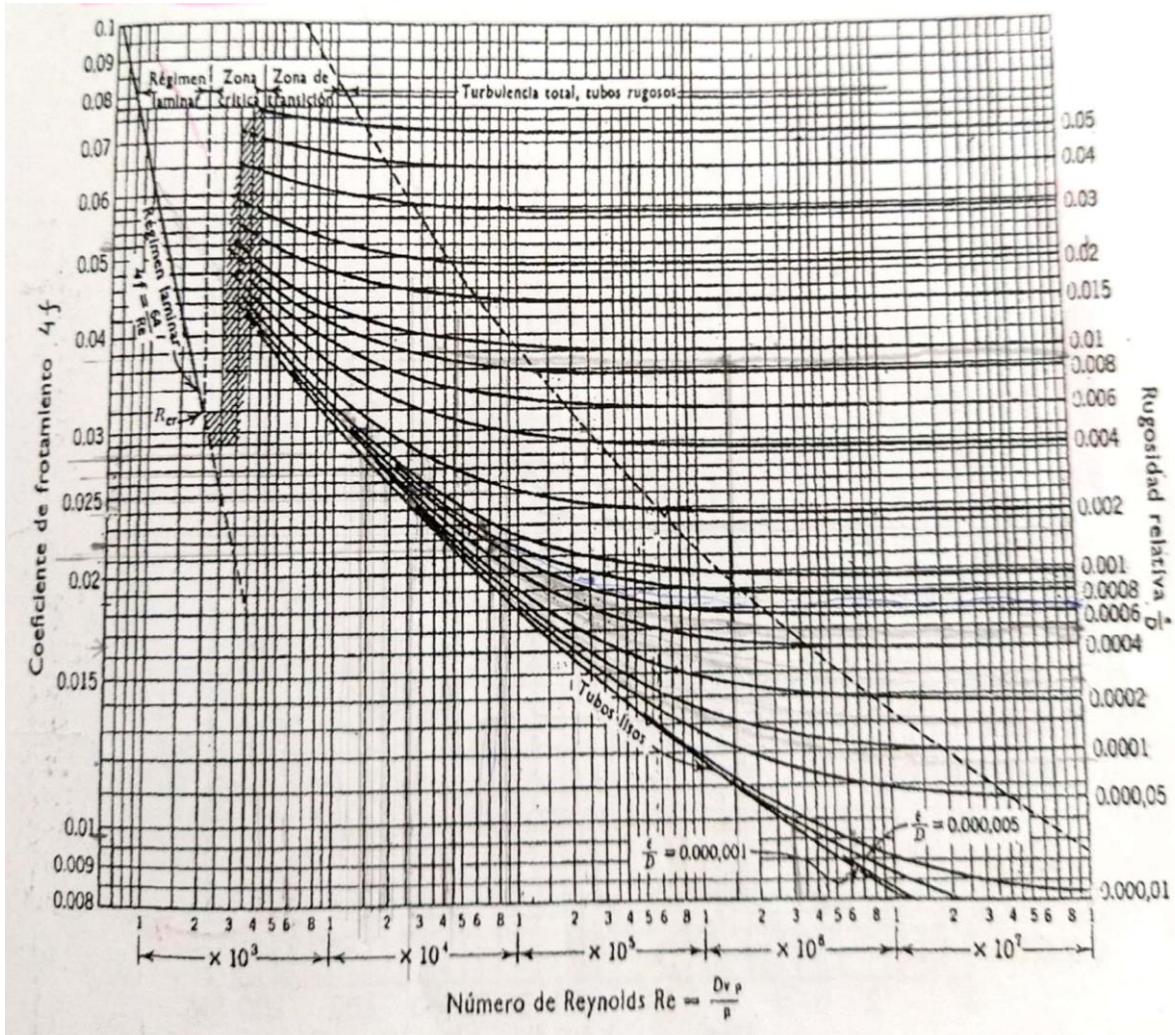


Figura 4.2.1.2. Coeficiente de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa.

Conocida la carga total, es posible seleccionar la bomba más adecuada para el sistema.

Tras obtenerse la carga total y la potencia de la bomba, se debe calcular el NPSH disponible y comprobar que NPSH requerido de la bomba es menor o igual para que no se produzca el fenómeno de cavitación, hecho que se produce por la vaporización parcial del líquido y que provoca desperfectos mecánicos en el equipo. El NPSH disponible es una característica del sistema que se calcula mediante la **ecuación A.45**, mientras que el NPSH requerido viene proporcionado por el fabricante de la bomba.

$$NPSH_{disp} = (z_1 - z_3) + \frac{1}{g} \left(\frac{P_1 - P_v}{\rho} + \frac{v_1^2}{2\alpha_1} - \Delta F_{asp} \right) \quad (A.45)$$

Siendo:

- z_1 y z_3 las alturas en la zona inicial y final de aspiración, respectivamente (m).
- v_1 la velocidad en la zona inicial de aspiración (m/s).
- g la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)
- $\alpha = 1$ en régimen turbulento
- P_1 la presión en la zona inicial de aspiración (Pa)
- P_v la presión de vapor de la amina (Pa)
- ρ es la densidad del fluido (kg/m^3)
- ΔF_{asp} es la pérdida de carga total en la zona de aspiración (J/kg)

Los puntos 1 y 3 hacen referencia a la zona inicial y final de aspiración, en concreto, el punto 1 al inicio de la conducción y el punto 3 antes de la entrada a la bomba (**fig. 4.2.1.3**).

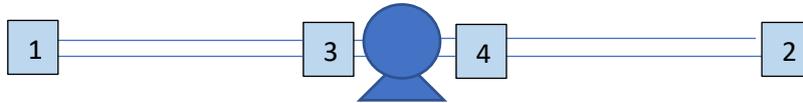


Figura 4.2.1.3. Sistema de referencia.

4.2.1.1. Tramo 3 y 5

En este apartado se realiza el procedimiento de cálculo, explicado anteriormente, para el tramo 3 y 5 conjuntamente.

Para realizar el cálculo se tienen en cuenta las siguientes consideraciones en cuanto a la conducción y a variables de operación:

- La longitud del tramo 3 es de 1 metro y la del tramo 5 de 1,5 metros. $L = 2,5 \text{ m}$
- La altura z_1 es de 0 metros porque la entrada al 1º IC está en el suelo y z_2 es de 0,5 porque es la altura a la que se introduce la amina en el 2º IC. $z_1 = 0, z_2 = 0,5$
- La presión en el punto 1 se considera atmosférica porque la columna de regeneración trabaja a presiones bajas. $P_1 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

- Se considera la presión de trabajo del 2ºIC de $1,5 \cdot 10^5$, por lo tanto, se fija la misma presión en el punto 2. $P_2 = 1,5 \cdot 10^5$ Pa
- Se considera una pérdida de carga del intercambiador de 10 J/kg
- La velocidad es igual en toda la conducción. $v_1 = v_2 = 0,53$ m/s
- El diámetro de la conducción es de 110 mm. $D=0,11$ m

Conociendo estos datos, la incógnita que queda es la pérdida de carga por rozamiento. Se calcula el número de Reynolds con la **ecuación A.44** para conocer el régimen de trabajo, teniendo en cuenta que la viscosidad es $0,004$ N·s/m² y la densidad es $1.003,68$ kg/m³.

$$Re = \frac{1.003,68 \cdot 0,53 \cdot 0,11}{0,004} = 1,46 \cdot 10^4 > 10^4 \text{ Régimen turbulento}$$

Se hace uso de la **figura 4.2.1.1** para obtener la rugosidad relativa de $\epsilon/D = 4 \cdot 10^{-4}$, teniendo en cuenta que es una conducción de acero (ϵ absoluta=0,00015 pies).

Con el valor de Reynolds y de la rugosidad relativa, se hace uso de la **figura 4.2.1.2** para obtener un factor Fanning de $f = 7 \cdot 10^{-3}$.

Con este dato y con la **ecuación A.42** se obtiene la pérdida de carga para el tramo recto.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,53^2 \cdot \frac{2,5}{0,11} = 0,089 \text{ J/kg}$$

Para el cálculo de la pérdida de carga en los accidentes, es necesario conocer la constante K de cada uno de los accidentes. En la **tabla 4.2.1.1.1** se muestran los accidentes y las constantes del tramo 3 y 5.

Tabla 4.2.1.1.1. Accidentes tramo 3 y 5.

Tipo de accidente	Unidades	K
Codo de 90º estándar	4	4·0,75
Válvula de compuerta	2	2·0,17
Válvula de diafragma	1	2,3
Entrada redondeada	2	2·0,23
Salida de cantos vivos	2	2·1
		$\sum K = 8,1$

De este modo, se aplica la **ecuación A.43** para conocer la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 8,1 \cdot \frac{0,53^2}{2} = 1,14 \text{ J/kg}$$

Sumando ambas pérdidas y teniendo en cuenta la del intercambiador, se calcula la total con la **ecuación A.41**.

$$\Delta F = 0,089 + 1,14 + 10 = 11,23 \text{ J/kg}$$

Haciendo uso de la **ecuación A.40** y simplificando términos, se obtiene la carga de la bomba.

$$h_B = \frac{1,5 \cdot 10^5 - 1,013 \cdot 10^5}{1.003,68 \cdot 9,8} + \frac{11,23}{9,8} = 6,1 \text{ m}$$

Con esta carga y conociendo el caudal de circulación, se selecciona el modelo RNL 40-200 de la marca Ideal. En la **figura 4.2.1.1.1** se muestran las curvas características.

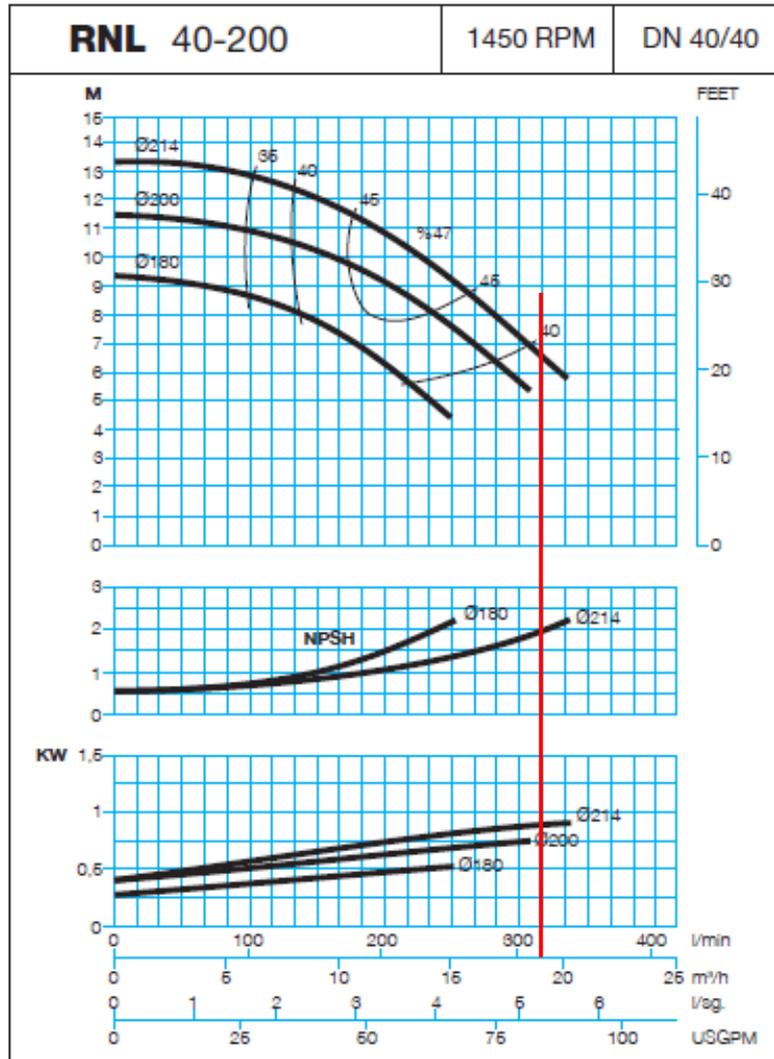


Figura 4.2.1.1.1. Curvas características bomba RNL 40-200

En la **tabla 4.2.1.1.2** se recogen las características de la bomba seleccionada.

Tabla 4.2.1.1.2. Características bomba tramo 3 y 5

Modelo	RNL 40-200
Rendimiento, η	0,40
Diámetro rodete (mm)	214
NPSH req (m)	2
Potencia (kW)	0,80

Finalmente, se calcula el NPSH disponible para comprobar que es mayor al requerido. Para ello, se debe calcular de nuevo la pérdida de carga total teniendo en cuenta solo los accidentes de la zona de aspiración, en este caso, de la válvula de compuerta, una salida de cantos vivos y un codo de 90°. La bomba se colocará a 0,5 metros de la salida de la torre de regeneración.

Con la **ecuación A.42** se calcula la pérdida de carga del tramo recto de aspiración.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,53^2 \cdot \frac{0,5}{0,11} = 0,018 J/kg$$

Y con la **ecuación A.43** se calcula la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 1,92 \cdot \frac{0,53^2}{2} = 0,27 J/kg$$

Si se aplica la **ecuación A.41** se obtiene la pérdida de carga total en la zona de aspiración.

$$\Delta F_a = 0,018 + 0,27 = 0,288 J/kg$$

Con la **ecuación A.45** y teniendo en cuenta que la presión de vapor de la amina a 40°C es 6,3 kPa, se calcula el NPSH disponible.

$$NPSH_{disp} = \frac{1}{9,8} \left(\frac{1,013 \cdot 10^5 - 6300}{1.003,68} + \frac{0,53^2}{2} - 0,288 \right) = 9,64 m$$

Se comprueba así que la bomba funcionará correctamente y no habrá cavitación.

4.2.1.2. Tramo 2 y 4

En este apartado se realiza el procedimiento de cálculo, explicado anteriormente, para los tramos 2 y 4 del sistema.

Para realizar el cálculo se tienen en cuenta las siguientes consideraciones en cuanto a la conducción y a variables de operación:

- La longitud del tramo 2 es de 2 metros y del tramo 4 es de 11,4 metros. $L = 13,4$ m.
- La altura z_1 y z_2 son $z_1 = 0$ m y $z_2 = 7,9$ m (se considera esa altura de la entrada a la columna de regeneración).
- La presión en el punto 1 es la presión de trabajo del absorbedor. $P_1 = 3,5 \cdot 10^5$ Pa
- La presión en el punto 2 se considera atmosférica porque la columna de regeneración trabaja a presiones bajas. $P_2 = 1,013 \cdot 10^5$ Pa
- La velocidad es igual en toda la conducción. $v_1 = v_2 = 0,56$ m/s

- El diámetro de la conducción es de 110 mm. D=0,11 m

Realizando el mismo procedimiento que en el tramo 3 y 5, se calcula el número de Reynolds con la **ecuación A.44** para conocer el régimen de trabajo, teniendo en cuenta que la viscosidad es 0,004 N·s/m² y la densidad es 1.003,68 kg/m³.

$$Re = \frac{1.003,68 \cdot 0,56 \cdot 0,11}{0,004} = 1,55 \cdot 10^4 > 10^4 \text{ Régimen turbulento}$$

Se hace uso de la **figura 4.2.1.1** para obtener la rugosidad relativa de $\epsilon/D = 4 \cdot 10^{-4}$, teniendo en cuenta que es una conducción de acero (ϵ absoluta=0,00015 pies).

Con el valor de Reynolds y de la rugosidad relativa, se hace uso de la **figura 4.2.1.2** para obtener un factor Fanning de $f = 7,25 \cdot 10^{-3}$.

Con este dato y con la **ecuación A.42** se obtiene la pérdida de carga para el tramo recto.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 7,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,56^2 \cdot \frac{13,4}{0,11} = 0,554 \text{ J/kg}$$

En la **tabla 4.2.1.2.1** se muestran los accidentes y las constantes del tramo 2 y 4 para el cálculo de la pérdida de carga para los accidentes.

Tabla 4.2.1.2.1. Accidentes tramo 2 y 4.

Tipo de accidente	Unidades	K
Codo de 90º estándar	5	5·0,75
Válvula de retención	1	2
Válvula de diafragma	1	9
Válvula de compuerta	1	0,17
Entrada redondeada	2	2·0,23
Salida de cantos vivos	2	2·1
		∑ K =17,38

De este modo, se aplica la **ecuación A.43** para conocer la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 17,38 \cdot \frac{0,56^2}{2} = 2,73 \text{ J/kg}$$

Sumando ambas pérdidas se calcula la total con la **ecuación A.41**, teniendo en cuenta una pérdida de 10 J/kg del intercambiador.

$$\Delta F = 0,554 + 2,73 + 10 = 13,28 \text{ J/kg}$$

Haciendo uso de la **ecuación A.40** y simplificando términos, se obtiene la carga de la bomba.

$$h_B = (7,9 - 0) + \frac{3,5 \cdot 10^5 - 1,013 \cdot 10^5}{1.003,68 \cdot 9,8} + \frac{13,28}{9,8} = 34,54 \text{ m}$$

Conociendo la carga de la bomba y el caudal de circulación, se selecciona el modelo RNL 40-160 de la marca Ideal. En la **figura 4.2.1.2.1** se muestran las curvas características.

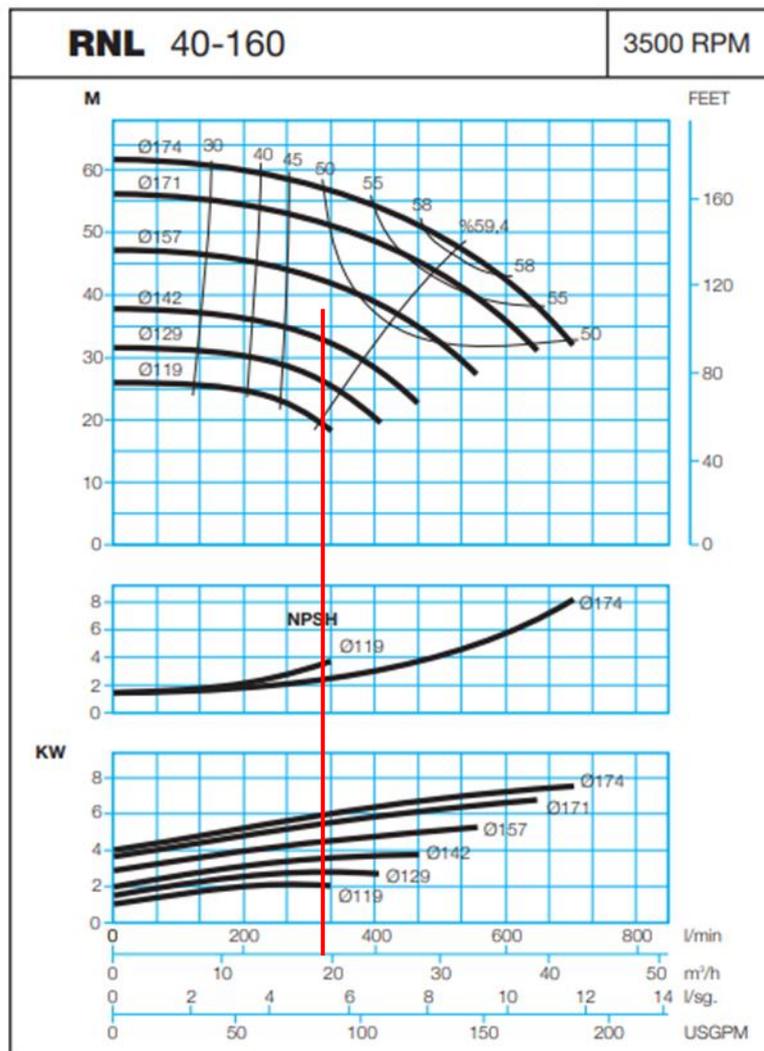


Figura 4.2.1.2.1. Curvas características bomba RNL 40-160

En la **tabla 4.2.1.2.2** se recogen las características de la bomba seleccionada.

Tabla 4.2.1.2.2. Características bomba tramo 2 y 4

Modelo	RNL 40-160
Rendimiento, η	0,45
Diámetro rodete (mm)	142
NPSH req (m)	3
Potencia (kW)	3,75

Para el cálculo del NPSH disponible solo se deben tener en cuenta los accidentes de la zona de aspiración, en este caso, de un codo, de la válvula de retención y la salida de cantos vivos. La bomba se colocará a 1 metro de la salida del absorbedor.

Con la **ecuación A.42** se calcula la pérdida de carga del tramo recto de aspiración.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 7,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,56^2 \cdot \frac{1}{0,11} = 0,041 \text{ J/kg}$$

Y con la **ecuación A.43** se calcula la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 3,75 \cdot \frac{0,56^2}{2} = 0,59 \text{ J/kg}$$

Si se aplica la **ecuación A.43** se obtiene la pérdida de carga total en la zona de aspiración.

$$\Delta F_a = 0,041 + 0,59 = 0,631 \text{ J/kg}$$

Con la **ecuación A.45** y teniendo en cuenta que la presión de vapor de la amina a 40°C es 6,3 kPa, se calcula el NPSH disponible.

$$NPSH_{disp} = \frac{1}{9,8} \left(\frac{1,35 \cdot 10^5 - 6300}{1.003,68} + \frac{0,56^2}{2} - 0,631 \right) = 12,93 \text{ m}$$

Se comprueba así que la bomba funcionará correctamente y no habrá cavitación.

4.2.1.3. Tramo 6

En este apartado se realiza el procedimiento de cálculo, explicado anteriormente, para el tramo 6 del sistema.

Para realizar el cálculo se tienen en cuenta las siguientes consideraciones en cuanto a la conducción y a variables de operación:

- La longitud es de 11,62 metros. $L = 11,62 \text{ m}$
- La altura z_1 y z_2 son $z_1 = 0 \text{ m}$ y $z_2 = 10,87 \text{ m}$.
- La presión en el punto 1 se considera atmosférica porque se ha supuesto que el 2° trabaja a bajas presiones. $P_1 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- La presión en el punto 2 es la presión de operación de la columna. $P_2 = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- La velocidad es igual en toda la conducción. $v_1 = v_2 = 0,53 \text{ m/s}$
- El diámetro de la conducción es de 110 mm. $D = 0,11 \text{ m}$

Realizando el mismo proceso que en los tramos anteriores, se calcula el número de Reynolds con la **ecuación A.44** para conocer el régimen de trabajo, teniendo en cuenta que la viscosidad es $0,004 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$ y la densidad es $1.003,68 \text{ kg/m}^3$.

$$Re = \frac{1.003,68 \cdot 0,53 \cdot 0,11}{0,004} = 1,46 \cdot 10^4 > 10^4 \text{ Régimen turbulento}$$

Se hace uso de la **figura 4.2.1.1** para obtener la rugosidad relativa de $\varepsilon/D = 4 \cdot 10^{-4}$, teniendo en cuenta que es una conducción de acero (ε absoluta = 0,00015 pies).

Con el valor de Reynolds y de la rugosidad relativa, se hace uso de la **figura 4.2.1.2** para obtener un factor Fanning de $f = 7 \cdot 10^{-3}$.

Con este dato y con la **ecuación A.42** se obtiene la pérdida de carga para el tramo recto.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,53^2 \cdot \frac{11,62}{0,11} = 0,415 \text{ J/kg}$$

En la **tabla 4.2.1.3.1** se muestran los accidentes y las constantes del tramo 6 para el cálculo de la pérdida de carga de los accidentes.

Tabla 4.2.1.3.1. Accidentes tramo 6.

Tipo de accidente	Unidades	K
Codo de 90º estándar	3	3,075
Válvula de compuerta	1	0,17
Válvula de diafragma	1	2,3
Entrada redondeada	1	0,23
Salida de cantos vivos	1	1
		$\sum K = 5,95$

De este modo, se aplica la **ecuación A.43** para conocer la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 5,95 \cdot \frac{0,53^2}{2} = 0,84 J/kg$$

Sumando ambas pérdidas se calcula la total con la **ecuación A.41**.

$$\Delta F = 0,415 + 0,84 = 1,255 J/kg$$

Haciendo uso de la **ecuación A.40** y simplificando términos, se obtiene la carga de la bomba.

$$h_B = (10,87 - 0) + \frac{3,5 \cdot 10^5 - 1,5 \cdot 10^5}{1.003,68 \cdot 9,8} + \frac{1,255}{9,8} = 31,33 m$$

Conociendo la carga de la bomba y el caudal de circulación, se selecciona el modelo RNL 40-200 de la marca Ideal. En la **figura 4.2.1.3.1** se muestran las curvas características.

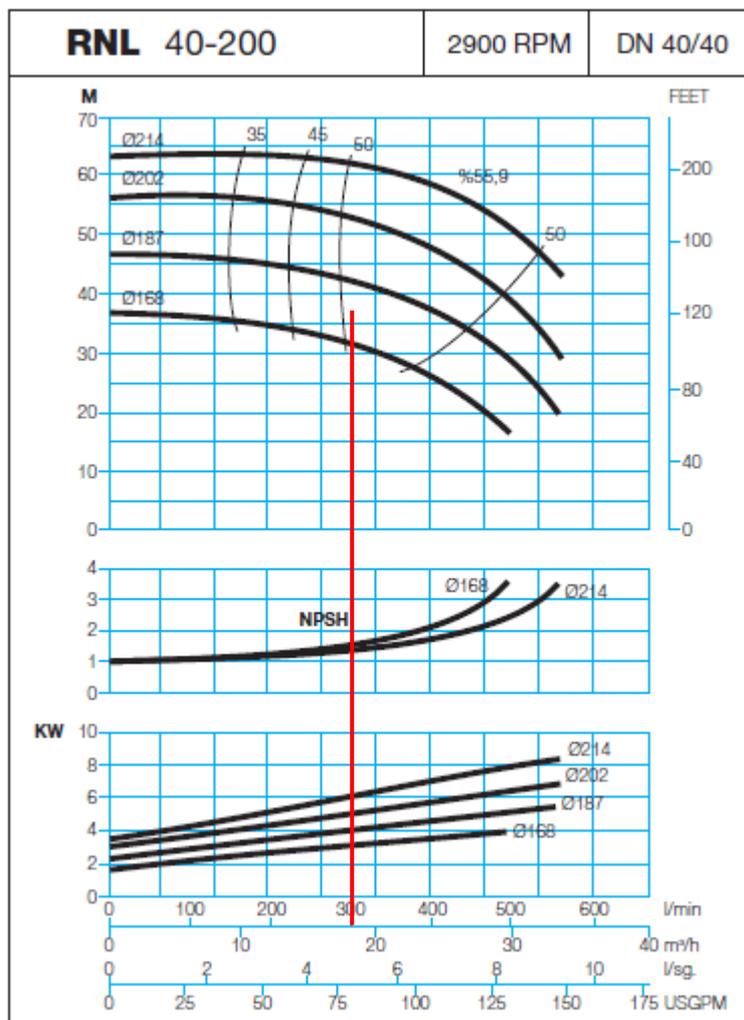


Figura 4.2.1.3.1. Curvas características bomba RNL 40-200

En la **tabla 4.2.1.3.2** se recogen las características de la bomba seleccionada.

Tabla 4.2.1.3.2. Características bomba tramo 6

Modelo	RNL 40-200
Rendimiento, η	0,50
Diámetro rodete (mm)	168
NPSH req (m)	1,5
Potencia (kW)	3

Para el cálculo del NPSH disponible solo se tiene en cuenta la válvula de compuerta, un codo de 90° y la salida de cantos vivos. La bomba se colocará a 0,5 metros de la salida del 2° intercambiador.

Con la **ecuación A.42** se calcula la pérdida de carga del tramo recto de aspiración.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,53^2 \cdot \frac{0,5}{0,11} = 0,018 \text{ J/kg}$$

Y con la **ecuación A.43** se calcula la pérdida de carga de los accidentes.

$$\Delta F_a = 1,92 \cdot \frac{0,53^2}{2} = 0,27 \text{ J/kg}$$

Si se aplica la **ecuación A.41** se obtiene la pérdida de carga total en la zona de aspiración.

$$\Delta F = 0,018 + 0,27 = 0,288 \text{ J/kg}$$

Con la **ecuación A.45** y teniendo en cuenta que la presión de vapor de la amina a 40°C es 6,3 kPa, se calcula el NPSH disponible.

$$NPSH_{disp} = \frac{1}{9,8} \left(\frac{1,013 \cdot 10^5 - 6300}{1003,68} + \frac{0,53^2}{2} - 0,288 \right) = 9,64 \text{ m}$$

Se comprueba así que la bomba funcionará correctamente y no habrá cavitación.

4.2.2. Procedimiento cálculo de la potencia de los compresores

En primer lugar, se debe considerar el tipo de circulación que se lleva a cabo antes de plantear el balance de energía al sistema. Para este caso, se asume que la circulación es isoterma ($\Delta T=0$) y, por lo tanto, el balance se realiza mediante la **ecuación A.46** para conocer la presión de entrada al compresor y, con la **ecuación A.47** para conocer la presión de salida.

$$\frac{M}{2ZRT} ((P'_1)^2 - P_1^2) = 2fG^2 \frac{L_1}{D} + \frac{G^2}{\alpha} \ln \frac{P'_1}{P_1} \quad (\text{A. 46})$$

$$\frac{M}{2ZRT} (P_2^2 - (P'_2)^2) = 2fG^2 \frac{L_2}{D} + \frac{G^2}{\alpha n} \ln \frac{P_2}{P'_2} \quad (\text{A. 47})$$

Donde:

- M es la masa molecular del gas (kg/kmol)
- Z es el factor de compresibilidad (Se asume como Z=1)
- R es la constante de los gases ideales (R=8134 J/kmol·K)

- T es la temperatura del gas (K)
- P₁' y P₂' son las presiones al inicio y al final de la conducción, respectivamente (Pa)
- P₁ y P₂ son las presiones a la entrada y a la salida del compresor, respectivamente (Pa)
- f es el factor de Fanning
- G es la velocidad másica (kg/s·m²)
- L es la longitud del tramo (m)
- D es el diámetro de la conducción (m)

La **figura 4.2.2.1** muestra un sistema de referencia similar.

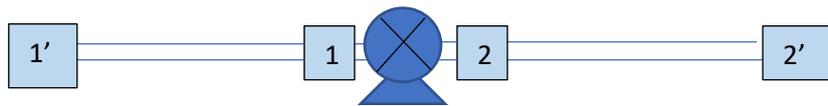


Figura 4.2.2.1. Sistema de referencia

El valor de la velocidad másica G se calcula mediante la **ecuación A.48**, donde Q es el caudal (m³/s), ρ es la densidad (kg/m³), S la sección de la conducción (m²) y V la velocidad media del gas (m/s).

$$G = \frac{m}{S} = \frac{Q\rho}{S} = V\rho \quad (\text{A.48})$$

Para obtener el factor de Fanning se realiza el mismo procedimiento expresado en el cálculo de las pérdidas de carga de las bombas. El primer paso es calcular Reynolds con la **ecuación A.49**.

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{GD}{\mu} \quad (\text{A.49})$$

Haciendo uso de la **figura 4.2.1.1** se obtiene la rugosidad relativa y, con el valor de Reynolds, se obtiene el factor f mediante la gráfica de Moody (**fig. 4.2.1.2**).

Si la circulación en el interior de la conducción se efectúa a velocidades inferiores a 35 m/s, se puede simplificar el balance y aplicar la ecuación de Weymouth (**ec. A.50**) para ambos tramos.

$$(P_1')^2 - P_1^2 = \frac{4fZRTL G^2}{MD} \quad (\text{A.50})$$

Tras conocer las presiones de entrada y salida del compresor, se procede a calcular la potencia necesaria para la compresión del gas. En la práctica, la compresión de los gases sufre un aumento de temperatura debido a que el proceso no puede realizarse lentamente para considerarse ni isotérmica ni adiabática, por lo tanto, se asume que la compresión que experimenta el gas es politrópica. Para que la temperatura no sobrepase la T^a requerida, habitualmente los compresores están refrigerados.

Si se considera el gas como ideal, con la **ecuación A.51** se calcula el trabajo necesario para comprimir un 1 kg de gas.

$$\widehat{W} = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{ZRT_1}{M} \left(r^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad (\text{A.51})$$

Donde:

- \widehat{W} es el trabajo teórico (J/kg)
- n es el coeficiente politrópico
- r es la razón de compresión ($r=P_2/P_1$)

El coeficiente politrópico se obtiene con la relación expuesta en la **ecuación A.52**.

$$\frac{n-1}{n} = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{1}{\eta_p} \quad (\text{A.52})$$

Donde:

- k es el coeficiente adiabático (k=1,3 para CH₄)
- η_p es la eficacia politrópica ($\eta_p \approx 0,8$)

Resolviendo la ecuación se obtiene un coeficiente igual a **n=1,4**.

Si se tiene en cuenta el rendimiento del equipo (η) y el caudal másico (kg/s), la potencia (J/s) necesaria del compresor se calcula aplicando la **ecuación A.53**.

$$W_{real} = \frac{\widehat{W} \cdot m}{\eta} \quad (A.53)$$

4.2.2.1. Compresor tramo 1

En este apartado se realiza el análisis del compresor que impulsa el biogás hacia la columna de absorción, siguiendo el procedimiento explicado en el apartado 4.2.2.

Para realizar el cálculo se tienen en cuenta las siguientes consideraciones en cuanto a la conducción y a variables de operación:

- La longitud es de 3 metros. $L = 3 \text{ m}$
- La presión en el punto 1' se considera atmosférica porque se desconoce la presión real del gas en la última etapa del pretratamiento. $P_1' = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- La presión de entrada del biogás en la columna es de $3,5 \cdot 10^5$. $P_2' = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- El diámetro de la conducción es de 213,6 mm. $D=0,2136 \text{ m}$

El primer paso es calcular la velocidad másica del biogás con la **ecuación A.38**, teniendo en cuenta que el caudal másico es 2.743,18 kg/h (0,762 kg/s).

$$G = \frac{4 \cdot 0,762}{\pi \cdot 0,2136^2} = 21,26 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$$

A continuación, se calcula el número de Reynolds con la **ecuación A.49** teniendo en cuenta que la viscosidad del biogás es $0,9 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

$$Re = \frac{21,26 \cdot 0,2136}{0,9 \cdot 10^{-6}} = 504.570,66 > 10^4$$

A través de la **figura 4.2.1.1** se obtiene un valor de la rugosidad relativa de 0,00025.

Con todos los datos y visualizando la **figura 4.2.1.2**, se obtiene un factor de fricción de $f = 0,0165$.

Como la velocidad del gas es de 18,52 m/s (<35 m/s), se plantean los balances de energía con la **ecuación 50**.

$$(1,013 \cdot 10^5)^2 - P_1^2 = \frac{4 \cdot 0,0165 \cdot 1 \cdot 8.134 \cdot 313 \cdot 1 \cdot 21,26^2}{25,595 \cdot 0,2136} =$$

$$P_1 = 101.260,51 \text{ Pa}$$

$$P_2^2 - (3,5 \cdot 10^5)^2 = \frac{4 \cdot 0,0165 \cdot 1 \cdot 8.134 \cdot 313 \cdot 2 \cdot 21,26^2}{25,595 \cdot 0,2136} =$$

$$P_2 = 350.022,85 \text{ Pa}$$

Conocidas las presiones, se obtiene una razón r de un valor de 3,46 y, con la **ecuación A.51**, se calcula el trabajo.

$$\hat{W} = \frac{1,4}{1,4 - 1} \cdot \frac{1 \cdot 8.134 \cdot 313}{25,595} \left(3,46^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right) = 148.198,43 \text{ J/kg}$$

Si se considera que el compresor tiene un rendimiento de un máximo de 80%, con la **ecuación A.53** se calcula la potencia real.

$$W_{real} = \frac{148.198,43 \cdot 0,762}{0,8} = 141.159 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 141,159 \text{ kW}$$

Para el tramo 1 se selecciona un compresor de tornillo serie VMY de la marca AERZEN IBERICA S.A, cuyas características se encuentran en la **figura 4.2.2.1.1**.



TIPO DE CONSTRUCCIÓN	COMPRESORES DE TORNILLO
CAUDAL VOLUMÉTRICO	300 a 3.080 m ³ /h
MEDIO	GAS DE RELLENO Y BIOGÁS , GASES DE PROCESO
COMPRESIÓN	CON INYECCIÓN DE ACEITE
OPERACIÓN DE PRESIÓN	13.000 mbar DE PRESIÓN MANOMÉTRICA

Figura 4.2.2.1.1. Características compresor marca AERZEN IBÉRICA

4.2.2.2. Compresor biometano

A continuación, se procede a detallar el cálculo de la potencia requerida para comprimir el biometano que sale de la etapa de enfriado. Tal y como se ha expuesto en el apartado 8.6 de la memoria, el gas debe comprimirse hasta los 250 bares y a 15°C y, posteriormente, almacenarse en botellas.

Para realizar el cálculo se tienen en cuenta las siguientes consideraciones en cuanto a la conducción y a variables de operación:

- La longitud es de 5 metros. $L = 5 \text{ m}$

- Se asume que la presión en el punto 1' de 2,5 bares considerando que debe ser inferior a la presión de salida del absorbedor (3,5 bar) ya que se desconoce la pérdida de presión del intercambiador. $P_1' = 2,5 \cdot 10^5$ Pa
- La presión en las botellas ha de ser de 200 bares. $P_2' = 2 \cdot 10^7$ Pa
- El diámetro de la conducción es de 152,4 mm. $D=0,1524$ m

El primer paso es calcular la velocidad másica del biogás con la **ecuación A.38**, teniendo en cuenta que el caudal másico es 1.153,92 kg/h (0,321 kg/s).

$$G = \frac{4 \cdot 0,321}{\pi \cdot 0,1524^2} = 17,6 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$$

A continuación, se calcula el número de Reynolds con la **ecuación 49** teniendo en cuenta que la viscosidad del metano es $11,2 \cdot 10^{-6}$ Pa·s.

$$Re = \frac{17,6 \cdot 0,1524}{11,2 \cdot 10^{-6}} = 239.485,7 > 10^4$$

A través de la **figura 4.2.1.1** se obtiene un valor de la rugosidad relativa de 0,00003.

Con todos los datos y visualizando la **figura 4.2.1.2**, se obtiene un factor de fricción de $f = 4,5 \cdot 10^{-3}$.

Como la velocidad del gas es de 21,31 m/s (<35 m/s), se plantean los balances de energía con la **ecuación 50**.

$$(2,5 \cdot 10^5)^2 - P_1^2 = \frac{4 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 8134 \cdot 288 \cdot 2,5 \cdot 17,6^2}{16,04 \cdot 0,2136}$$

$$P_1 = 249.995,06 \text{ Pa}$$

$$P_2^2 - (2,5 \cdot 10^7)^2 = \frac{4 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 8134 \cdot 288 \cdot 2,5 \cdot 17,6^2}{25,595 \cdot 0,2136}$$

$$P_2 = 2,5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

Cuando la razón r es superior a 5, como es el caso (r=100), la compresión se realiza de forma escalonada en varias etapas refrigerando el gas para evitar el calentamiento. El nº de etapas necesarios viene dada por la **ecuación A.54**.

$$r^N = \alpha \quad (A.54)$$

Si se suponen 3 etapas de compresión, se obtiene una razón r=4,64 < 5 por lo tanto, N=3.

Con este nuevo parámetro, la **ecuación A.51** queda ligeramente modificada:

$$\widehat{W} = N \cdot \frac{n}{n-1} \cdot \frac{ZRT_1}{M} \left(r^{\frac{n-1}{n \cdot N}} - 1 \right)$$

Si se sustituyen los valores, se calcula el trabajo teórico necesario.

$$\widehat{W} = 3 \cdot \frac{1,4}{1,4-1} \cdot \frac{1 \cdot 8.134 \cdot 288}{16,04} \left(4,64^{\frac{1,4-1}{1,4 \cdot 3}} - 1 \right) = 241.348,9 \text{ J/kg}$$

Si se considera que el compresor tiene un rendimiento de un máximo de 80%, con la **ecuación A.52** se calcula la potencial real de las tres etapas de compresión.

$$W_{real} = \frac{241.348,9 \cdot 0,321}{0,8} = 96.841,25 \frac{J}{s} = 96,84 \text{ kW}$$

Se selecciona un compresor alternativo con refrigeración por agua, modelo DA300 de la marca FORNOVOGAS. Las características se encuentran en la **figura 4.2.2.1**.



Configuraciones

Diseñado para instalarse tanto en módulos GASVECTOR como en salas técnicas, el compresor DA300 se puede combinar con un motor eléctrico o de gas, con una potencia de hasta 400 kW y caudales superiores a 8.000 Sm³ / h.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

- Potencia hasta 400kW
- Compresor alternativo con cilindro no lubricados
- Velocidad máxima: 1500 rpm
- Amplia gama de cilindros disponibles
- Refrigeración por agua o aire
- Disponible en configuraciones de 2 o 3 cilindros o para aplicaciones especiales de 4, 5 o 6 cilindros (TANDEM)
- Diseño compacto (espacio optimizado y fácil mantenimiento)
- Acoplamiento directo entre motor y compresor
- Pistones y juntas a la vanguardia de los estándares de la industria
- Vibraciones mínimas gracias a un compresor equilibrado optimizado
- Disponible en configuración OIL FREE

Figura 4.2.2.2.1. Características compresor marca FORNVOOGAS

5. ANEXO 5: INSTRUMENTACIÓN

La instalación estará dotada de instrumentos de medida de presión, caudal y temperatura que se detallan a continuación.

Medidor de caudal

- Entrada y salida de la columna de absorción corriente líquida
- Entrada y salida de la columna de absorción corriente gaseosa
- Entrada y salida de la columna de regeneración corriente líquida
- Salida del primer intercambiador corriente amina pobre

Medidor de presión

- Entrada y salida de la columna de absorción corriente gaseosa

Medidor de temperatura

- Entrada y salida de la columna de absorción corriente líquida
- Entrada y salida de la columna de absorción corriente gaseosa
- Entrada y salida de la columna de regeneración corriente líquida
- Salida del primer intercambiador corriente amina pobre

6. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

El Real Decreto 681/2003 forma parte de la normativa de seguridad y salud en el trabajo, enmarcada por la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en la que se establece como obligación la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

Para realizar el estudio, se emplea el método de Evaluación General de Riesgos del INSHT (Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo). Para ello, se deben identificar los peligros de la instalación y estimar el riesgo que conlleva considerando la gravedad de los daños y la probabilidad de que ocurra.

Severidad del daño

- Ligeramente dañino: daños superficiales, molestias, irritación...
- Dañino: quemaduras, sordera, asma...
- Extremadamente dañino: intoxicaciones, cáncer...

Probabilidad de que ocurra

- Probabilidad alta: El daño ocurrirá siempre o casi siempre
- Probabilidad media: El daño ocurrirá en algunas ocasiones
- Probabilidad baja: El daño ocurrirá raras veces

En la **tabla 6.1** se observa un método simple para estimar los niveles de riesgo en función de lo expuesto.

Tabla 6.1. Niveles de riesgo

		Consecuencias		
		Ligeramente dañino (LD)	Dañino (D)	Extremadamente dañino (ED)
Probabilidad	Baja (B)	Riesgo trivial (T)	Riesgo tolerable (TO)	Riesgo moderado (MO)
	Media (M)	Riesgo tolerable (TO)	Riesgo moderado (MO)	Riesgo importante (I)
	Alta (A)	Riesgo moderado (MO)	Riesgo importante (I)	Riesgo intolerable (IN)

Los niveles que se han indicado en la tabla anterior (**tabla 6.1**) establecen un criterio para decidir si se requiere mejorar los controles de riesgo existentes o implantar unos nuevos, así como establecer un periodo de exposición máximo de las actividades. A continuación, se expone el criterio sugerido para la toma de decisión:

- Trivial (T): no se requiere de acción específica.
- Riesgo tolerable (TO): no hay necesidad de mejorar la acción preventiva. Sin embargo, deben considerarse soluciones más rentables y mejoras que no supongan una carga económica importante. Además, requiere comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
- Riesgo moderado (MO): se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado.
- Riesgo importante (I): no debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo.
- Riesgo intolerable (IN): no debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

De este modo, se procede a la identificación de los peligros y la evaluación de los riesgos de la planta:

1. Caídas al mismo nivel

Ocurren cuando se acumulan herramientas y materiales de trabajo en las zonas de paso, en zonas donde hay cables y tuberías, etc., que causan tropiezos y/o caídas.

2. Caídas a distinto nivel

Pueden darse en trabajos de construcción y de mantenimiento en equipos y tuberías que se encuentran en altura, escaleras, zonas de paso más estrechas en altura, etc.

3. Caída de objetos

Ocurre en trabajos realizados en altura por la caída de herramientas o material de trabajo, pudiendo causar accidentes en otros trabajadores.

4. Choques, cortes y golpes

Pueden darse choques en las zonas de tránsito de los vehículos y en las zonas de paso más estrechas. Los cortes y los golpes pueden ocurrir a causa de caídas en zonas de paso más estrechas con equipos, tuberías e instrumentación de por medio.

5. Exposición al ruido

El ruido está presente en toda la planta debido a los equipos de trabajo, en especial los compresores. También durante el proceso de obra y puesta en marcha.

6. Sobreesfuerzos, posición de desplazamiento, manejo de cargas

Se pueden dar por cargar demasiado peso encima ya sea con bidones, sacos, bolsas, etc. También por manipular manualmente equipos y maquinaria de gran peso.

7. Contactos térmicos

Se pueden dar por el contacto con superficies calientes como puede ser en bombas, compresores, intercambiadores de calor, reboilers, etc. También por contacto con vapores a altas temperaturas.

8. Contactos eléctricos

El riesgo por contacto eléctrico puede darse por la presencia de toda la red de cables y todos los equipos que funcionan con electricidad, como son las bombas.

9. Explosiones/Incendios en operaciones con posible presencia de gas

El riesgo de explosiones puede darse por el confinamiento del gas en un espacio cerrado y sin ventilación, como pueden ser tuberías o equipos que trabajan con gases combustibles. Los incendios se generan por la presencia de una fuente de ignición, ya sea por una chispa eléctrica o por llama directa.

10. Asfixia

El riesgo por asfixia puede ocurrir en espacios cerrados y en presencia de gases desplazantes de oxígeno en nivel superior al 10% del LIE y/o niveles de concentración de oxígeno inferiores a 19,5% durante un período de tiempo.

11. Fuga o derrame de productos químicos

El riesgo por fuga o derrame de productos químicos puede darse por una mala manipulación de los productos o por averías en equipos y/o tuberías.

12. Contacto con sustancias nocivas

Se puede dar por el contacto (inhalación, ingestión, contacto con la piel y los ojos) con sustancias nocivas puede darse por fugas y derrames de sustancias tóxicas/corrosivas.

En la **tabla 6.2** se muestra la evaluación que se lleva a cabo de los riesgos según el método INSHT.

Tabla 6.2. Niveles de riesgo

Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Tolerancia
1	Media	D	MO
2	Media	ED	I
3	Baja	D	TO
4	Media	D	MO
5	Alta	D	I
6	Alta	D	I
7	Media	D	MO
8	Baja	D	TO
9	Baja	ED	MO
10	Baja	ED	MO
11	Baja	ED	MO
12	Media	D	I

Finalmente, teniendo en cuenta los resultados expuestos, se consideran las siguientes medidas de prevención para reducir el riesgo a posibles accidentes:

1. Caídas al mismo nivel

Se deberá mantener el orden y la limpieza en la zona de actuación, manteniendo las herramientas y los materiales en una zona colindante ordenados. Se deberá colocar cubre cables en las zonas de paso en las que existan canaletas de cableado. No se trabajará subido en las tuberías. Se deberá utilizar banquetas o plataformas auxiliares. En entorno de obras, se transitará por lugares adecuados al efecto y no por acopios de escombros o materiales.

2. Caídas a distinto nivel

En instalaciones se comprobará antes de acceder a ellas que las escaleras y las trampillas se encuentran en buen estado. En trabajos nocturnos o diurnos que requieran visualización por otros trabajadores y/ o terceros se señalar el entorno de trabajo y los propios trabajadores llevarán prendas de alta visibilidad.

En las zonas de mayor riesgo a una caída de una altura mayor a 2m, se deberán disponer de barandillas de seguridad a ambos lados (de 0.90m de altura, protección intermedia a 0.45m y rodapié de 15cm de altura respecto a la superficie). Para trabajos de mayor altura, se requerirá el uso equipos de protección individual (guantes, cascos, calzado de seguridad...) y de un equipo seguridad (arnés, cuerdas de seguridad, mosquetones automáticos...), además de una formación cualificada en trabajos de altura.

3. Caída de objetos

. Se evitará almacenar objetos pesados en altura o en zonas de difícil acceso. Las zonas de altura deberán contar con un rodapié de 15cm para evitar la caída de objetos.

Para trabajos en altura, los empleados dispondrán de un maletín o cinturones portaherramientas para realizar la tarea con seguridad.

4. Choques, cortes y golpes

Las zonas de paso estrechas se señalarán como zona de riesgo ante posibles caídas, golpes y/o cortes. Se evitará llevar cadenas, anillos o elementos colgantes para evitar posibles enganches.

5. Exposición al ruido

En las zonas de mayor nivel de decibelios (<80 dB), se dispondrá de tapones o, si el periodo de exposición es largo, de cascos como protección auditiva.

6. Sobreesfuerzos, posición de desplazamiento, manejo de cargas

Si el volumen, forma o peso de los materiales no permiten la manipulación manual se utilizarán medios auxiliares. Levantar los objetos con la espalda recta doblando las rodillas. Realizar las pausas necesarias para estirar los músculos y minimizar la fatiga.

7. Contactos térmicos

Se evitará tocar las partes calientes de los intercambiadores, las bombas y compresores, la columna de regeneración y el reboiler. En caso necesario esperar el tiempo prudencial hasta que se enfríen. Se colocará una camisa térmica siempre como protección ante posibles contactos.

8. Contactos eléctricos

Todos los trabajos que conlleven un riesgo de contacto con elementos eléctricos deberán ser realizados según indica el RD 614/2001 sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Se procurará no tener cables descubiertos que puedan sufrir por encima de ellos el peso de la maquinaria o vehículos, así como posibles contactos accidentales por personal de obra y los empleados. Se colocarán señales de advertencia en las zonas de riesgo eléctrico.

9. Explosiones/Incendios en operaciones con posible presencia de gas

De forma general está prohibido producir cualquier fuente de ignición. Para todos los trabajos con elementos de ignición con posible presencia de gas se requerirá de permiso de trabajo.

Se prohíbe acercarse con una llama, producir chispas o fumar en las cercanías de un lugar de trabajo donde pudiera encontrarse normal o accidentalmente presencia de gas en la atmósfera. Los equipos detectores empleados medirán, como mínimo, concentraciones de gas y oxígeno, debiendo estar en adecuado estado de calibración y revisión.

Se dispondrá en el lugar donde se realicen las operaciones de los medios de extinción (extintor/es del tipo polvo ABC mínimo 6 kg) en número suficiente, convenientemente revisados y en perfectas condiciones de uso.

Los equipos de trabajo eléctrico y/o electrónico deberán estar certificados para utilización en ambientes inflamables (RD 144/2016) si se quieren utilizar en dichos ambientes.

Los trabajadores deberán utilizar vestuario ignífugo para la realización de los trabajos en caso de posible presencia de atmósfera inflamable. Asimismo, usarán calzado con propiedades antiestáticas y prendas que no generen cargas electrostáticas, y no portarán objetos metálicos (anillos, relojes, cadenas, etc.).

En caso de tener que utilizar dispositivos de comunicación para la coordinación de la actividad si estos no están certificados para su uso en zonas clasificadas ATEX, deberán utilizarse desde zonas seguras.

10. Asfixia

No se comenzará o continuará la operación si se detecta la presencia de gas en nivel superior al 10 % del LIE y/o niveles de concentración de oxígeno inferiores a 19,5%, y los mismos no desaparecen con las maniobras de ventilación habituales. En tal caso, se abandonará la instalación y se informará al Centro de Control para recibir instrucciones.

En caso de tener que realizar los trabajos en condiciones adversas se utilizarán equipos de respiración autónoma o semiautónomos.

11. Fuga o derrame de productos químicos

Se realizarán varias intervenciones de mantenimiento para asegurar que los equipos y las tuberías están en buenas condiciones. Ante posibles fugas, se dispone de un sistema automático de detección de fuga de gases que hace sonar una alarma general de evacuación. Los trabajadores deberán ser conocedores y proceder al plan de evacuación

en caso de fuga. Se deberá localizar la zona y aislarla en el menor tiempo posible tomando las medidas de seguridad adecuadas.

Ante posibles derrames, se colocarán cubetos retención para evitar la propagación incontrolada del vertido. Se deberá localizar la zona y aislarla en el menor tiempo posible tomando las medidas de seguridad adecuadas.

12. Contacto con sustancias nocivas

Los trabajadores que estén expuestos a sustancias corrosivas y/o tóxicas, como es el manejo de sustancias químicas o la exposición a gases calientes, deberán disponer de los EPIs necesarios para la correcta manipulación.

En caso de contacto con la piel o los ojos, lavar abundantemente con agua y acudir al médico.

En caso de dificultad para respirar, mareos o somnolencia, evacuar la zona y dirigirse hacia un punto de encuentro seguro.

1. ANEXO 6: CATÁLOGOS Y FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

1.1. COLUMNA DE ABSORCIÓN

Chapa de acero al carbono para recipientes a presión para usos a temperaturas intermedias y elevadas (ASTM A515)

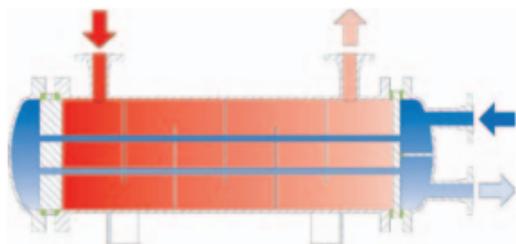
	Sentido	Espesor (mm)	R _e (MPa)	R _m (MPa)	A 2 (%)	A 8 (%)
A515 gr.60	T	5 - 80	≥ 220	415 - 550	≥ 25	≥ 21
A515 gr.65	T	5 - 80	≥ 240	450 - 585	≥ 23	≥ 19
A515 gr.70	T	5 - 80	≥ 260	485 - 620	≥ 21	≥ 17

Chapa de acero al carbono para recipientes a presión para usos a temperaturas intermedias y elevadas (ASTM A515)

	Notas	Espesor (mm)	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)
A515 gr.60		5 - 25	≤ 0.24	≤ 0.90	≤ 0.025	≤ 0.025	0.15 - 0.40
		25 - 50	≤ 0.27				
		50 - 80	≤ 0.29				
A515 gr.65		5 - 25	≤ 0.28	≤ 0.90	≤ 0.025	≤ 0.025	0.15 - 0.40
		25 - 50	≤ 0.31				
		50 - 80	≤ 0.33				
A515 gr.70		5 - 25	≤ 0.31	≤ 1.20	≤ 0.025	≤ 0.025	0.15 - 0.40
		25 - 50	≤ 0.33				
		50 - 80	≤ 0.35				

1.2. INTERCAMBIADOR AMINA-AMINA Y COMPLEMENTARIO

Serie CPS Estándar



Características técnicas

El modelo CPS-(CP-Estándar) se desarrolló a partir del modelo TEMA tipo BEW y constituye una construcción en serie, lograda mediante una estandarización muy estudiada, que se diferencia de los equipos fabricados a medida. Ello nos permite ofrecer equipos con superficies de intercambio de calor de 0,47 m² a 104,02 m² con una excelente relación precio/rendimiento y con la reconocida calidad FUNKE.

Se trata de un intercambiador de calor con tubos internos rectos y haz tubular extraíble, cuya placa tubular sólida se encuentra sujeta entre las bridas del lado de la carcasa y las del lado de los tubos mediante dos juntas planas y pernos.

En el lado de la placa tubular flotante, se consigue evitar que se mezclen el fluido que pasa por los tubos con el fluido de la carcasa, mediante la colocación de dos anillos de cierre y un anillo estanco entre las bridas.

En caso de fugas debidas a defectos en uno o en ambos anillos de cierre, los fluidos correspondientes siempre se escapan al exterior a través de orificios de detección de fugas ubicados en el perímetro del anillo estanco.

Todas las juntas de este diseño sellan contra la atmósfera. Las uniones de los tubos a la placa tubular se realizan exclusivamente mediante expansión.

Disponemos de dos versiones de cabezales de conexión y de retorno con los cuales se generan diseños de uno o múltiples pases por el lado tubo y cuya elección se lleva a cabo según los criterios de la ingeniería de fluidos.

Aplicaciones

Las aplicaciones de este intercambiador de calor como refrigerador de fluidos son múltiples. Se utiliza principalmente como refrigerador estándar de aceite o de agua. Su uso como refrigerador de gas o precalentador de gas puede implementarse llevando el gas a través de los tubos.

Conformidad

Los intercambiadores de calor FUNKE de tipo CPS cumplen con la Directiva de Equipos a Presión 97/23/EC (PED) y con la normativa AD 2000.

Documentación estándar

La documentación estándar de estos intercambiadores de calor de carcasa y tubos comprende:

- Plano constructivo
- Cálculo de estabilidad
- Instrucciones de operación y mantenimiento
- Certificado de las pruebas de presión
- Declaración de conformidad/Certificado de conformidad

Componente	Material	Opcional	Observaciones
Tubos internos	CuZn28Sn1F32	Acero fino, 1.4571	
Placas tubulares	CuZn38SnAlF39	Acero fino, 1.4571	
Baffles	CuZn37	Acero fino, 1.4571	
Carcasa	SI35.8I		
Cabezales	P 265 GH (SI35.8I)		
Abrazaderas	S235JRG2		
Pintura	mano de fondo de fosfato de zinc		gris-verde

Las medidas de esta serie se detallan en la hoja de medidas

Flujo del fluido	Sobrepresión máxima de servicio	Prueba de sobrepresión	Temperatura máxima de servicio
Lado carcasa	20 bar	Conforme a DGRL	110°C
Lado tubos	10 bar	Conforme a DGRL	80°C

1.3. INTERCAMBIADOR BIOMETANO

I-TFM-I

Multitubo de haz tubular no extraíble.

LÍNEA INDUSTRIAL

Diseñada tanto térmica como mecánicamente para garantizar una larga vida útil y alta fiabilidad.

FUNCIONAMIENTO

El I-TFM-I es un intercambiador de calor tubular que consiste en un haz tubular dentro de una carcasa. El producto fluye por los tubos interiores mientras que el servicio lo hace por el canal exterior.



APLICACIONES

Procesos de calentamiento, evaporación, condensación o enfriamiento de productos como aceites, efluentes, aguas sucias, asfaltómeros, hidrocarburos, biogás, gases de escape, biodiésel, metanol entre otros.

VENTAJAS DE LA CORRUGACIÓN

- PERFIL HIGIÉNICO
- DIFERENTES TIPOS DE CORRUGACIÓN
- FLUJO TURBULENTO A MENOR NÚMERO DE REYNOLDS QUE CON TUBO LISO
- MAYORES COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA Y MENOR ÁREA DE INTERCAMBIO REQUERIDO
- TRATAMIENTO TÉRMICO HOMOGÉNEO
- MENOR ENSUCIAMIENTO O "FOULING"
- MENORES TIEMPOS DE RESIDENCIA
- TIEMPOS DE PROCESO MÁS LARGOS

VENTAJAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR TUBULAR

- BAJOS COSTES DE MANTENIMIENTO
- ALTAS PRESIONES DE TRABAJO
- ALTAS TEMPERATURAS DE OPERACIÓN
- PROCESADO DE PRODUCTOS CON PARTÍCULAS O FIBRAS
- FÁCIL INSPECCIÓN Y DESMONTAJE
- GRAN SEGURIDAD EN PROCESOS ASÉPTICOS
- FÁCIL DE AMPLIAR



1.4. ACCESORIOS COLUMNA

Liquid feed systems

Design principles and types

Uniform liquid feed to the liquid distributor selected for a particular application is critical to its optimum performance. The feed system must distribute liquid as evenly as possible to the entire liquid distributor while taking into consideration liquid discharge velocity and liquid pressure fluctuations.

The liquid feed system is especially critical in systems of high liquid loads and in large diameter columns.

Fundamental design options are as follows:

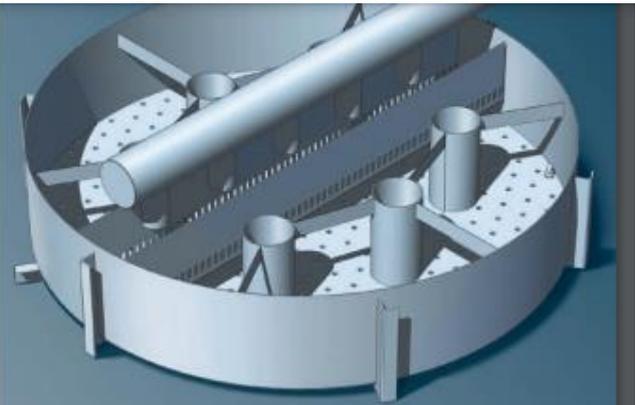
- Ladder type feed system for low and medium liquid loads (< 80 m³/m²h, turndown ratio of 1:3) and
- Parting box with downcomers for high liquid loads and wide turndown ranges (1:10 or more)

Special parting box designs are available to handle two phase mixtures at high temperatures.

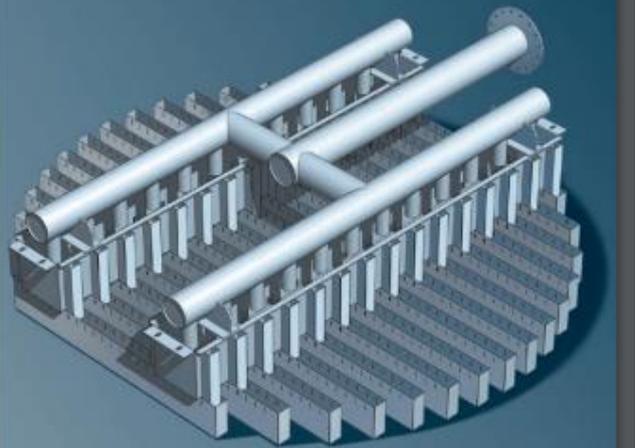
A system that distributes liquid feed prior to the distributor is not required for low liquid loads (up to 5 m³/m²h) and small diameter columns.

Each of the above-mentioned liquid feed designs has specific advantages.

Not every design is able to be used with every type of liquid distributor. Our knowledge and experience allow us to support you in the optimal configuration of liquid feed system and distributor for your particular application.



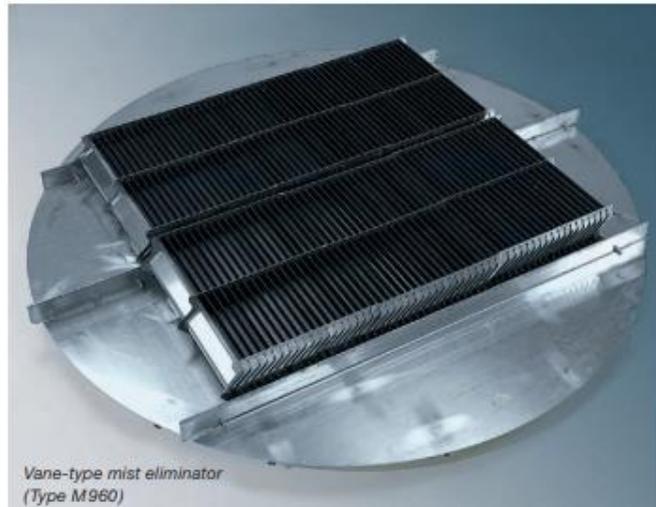
Pan-type distributor with parting box and I-type feed pipe (M150T and M155I)



Trough-type distributor with parting box and H-type feed pipe (M150KK + M155H)

Mist eliminators are employed at the top of a packed column or in conjunction with a collecting tray between two packed beds. They separate liquid droplets from the gas stream. Droplet discharge from the column and/or the liquid entrainment from one stage to the next is minimized.

Droplet separation is achieved utilizing mass inertia of the liquids. For this reason, droplet removal efficiency declines with smaller droplet diameter.

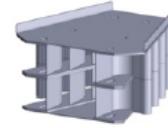


Description	Metal	Plastic	Ceramics / Graphite
Liquid distributors			
Pan-type distributor	M 150 T	P 150 T	K 150 T
Trough-type distributor	M 150 KK	P 150 KK	K 150 KK
Trough-type distributor with integrated parting box	M 150 KQ	P 150 KQ	–
Deck-type distributor	M 150 B	P 150 B	–
Ladder-type distributor	M 150 RR	P 150 RR	–
Spray nozzle-type distributor	M 150 SR	P 150 SR	K 150 SR
Feed pipes			
L Type	M 155 L	P 155 L	–
H Type	M 155 H	P 155 H	–
T Type	M 155 T	P 155 T	–
I Type	M 155 I	P 155 I	–
Collecting trays – redistributors			
Chimney-type collecting tray	M 900 K	P 900 K	–
Vane-type collecting tray	M 900 L	P 900 L	–
Pan-type redistributor	M 200 T	P 200 T	K 200 T
Trough-type redistributor	M 200 KK	P 200 KK	–
Trough redistributor with integrated parting box	M 200 KQ	P 200 KQ	–
Deck-type redistributor	M 200 B	P 200 B	–
Feed Systems for two-phase mixtures			
Flash gallery	M 800 B	–	–
Flash box	M 800 K	–	–
Light duty phase separator	M 800 R	–	–
Gas distributors			
Vane type	M 850 L	P 850 L	–
Chimney tray	M 850 B	P 850 B	–
Ladder-type	M 850 R	P 850 R	–
Feed pipe	M 850 I	P 850 I	–
Support grids			
Flat support grid	M 65	P 65	K 65
Profile support grid (low beam)	M 95	P 95	–
Profile support grid (medium beam)	M 165	P 175	K 180
Profile support grid (high beam)	M 350	P 250	K 300

Shell Schoepentoeter™ and Schoepentoeter Plus™ Inlet Device

FEATURES AND BENEFITS

- Constructed from banks of swept vanes.
- Designs available for operation in most gas/liquid flow regimes.
- The Schoepentoeter Plus is equipped with sophisticated catching rims to minimize entrainment.



KEY CHARACTERISTICS

- Generally designed at dynamic pressures < 8000 Pa, but can perform well at higher values.
- Is typically used for feeds having a gas volume fraction of > 70 vol%.
- Suitable for installation in horizontal or vertical separators.
- Suitable for liquid slugs.

KEY AREAS OF APPLICATION

- The Schoepentoeter is the most commonly used vane inlet device for introducing gas/liquid mixtures into columns.
- The Schoepentoeter Plus is an advanced feed inlet vane device with considerably increased de-entrainment efficiency and first choice for all demanding tasks such as in vacuum towers, crude distillation and hydrocracker main fractionators and high pressure separators.

Type of separator	Typical materials*										Product facts on page
	Stainless steels	Alloy C22	Alloy C276	Alloy 400	Alloy 625	Alloy 825	Alloy 20	Copper	PP, FEP, ETFE, PTFE	Glass fibers	
KnitMesh™ Mist Eliminator	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	5
KnitMesh V-MISTER™	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	5
KnitMesh™ 9797 High Performance Mist Eliminator	✓ **			✓ **	✓ **	✓ **					5
Mellachevron™ Mist Eliminator	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓ ***		6
Shell VersiSwirl™	✓				✓	✓					6
Shell Swirtube Light™	✓				✓	✓					6
MKS Multi Cassette™ Mist Eliminator	✓										7
Shell Schoepentoeter™ and Schoepentoeter Plus™ Inlet Device	✓				✓	✓					7
Treelnet™ Device	✓				✓	✓					7
HiFer™ Cyclone Inlet Device	✓				✓	✓					8
GiTV Vapor Horn	✓				✓	✓					8

* other materials on request

** can contain PTFE multifilaments in addition to the metal wire

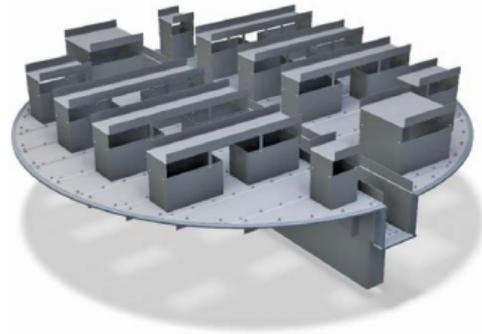
*** if not metallic then typically: PP, PP-TF, PVC, PVDF or FRP

Liquid Collectors

Liquid collection between packed beds is frequently required. The reasons for using liquid collectors are varied; therefore, the design is tailored to every application. Benefits of a separate collector include improvement in cross mixing of liquid before redistribution and mixing of feed streams with the internal column liquid. For examples of situations where liquid collection might be needed, refer to Liquid Collectors on page 26 in the Technical Guide.

Model 611 Deck Liquid Collector

- Tower diameter: No restriction
- Support features: Full circumference tower ledge or body flange mounting
- Standard features
 - Glass fiber gaskets
 - Sufficient vapor risers to maintain good vapor distribution
 - Single or multiple sumps
 - Center or side sump location
 - Total or partial draw
- Optional features
 - Alternate gasket material
 - Field welded construction
 - Pipe downcomers



Support Plates

Every packed bed will need a support. Two critical factors to be considered in the design of a packing support are:

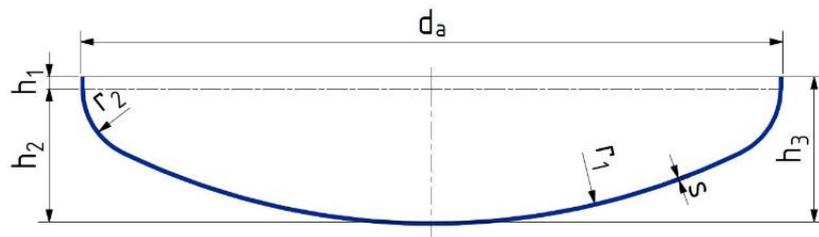
- The ability to physically retain and support the packed bed under column operating conditions.
- A high percentage of open area to allow unrestricted countercurrent flow of downcoming liquid and upward flowing vapor so the packing capacity is not limited.

Model 802 Structured Packing Support Grid

- Tower diameter: No restriction
- Support features: Full circumference tower ledge or wall clips
- Standard features
 - Free and uniform passage of liquid and vapor
 - Bolted grid sections
- Optional features
 - Increased uplift resistance
 - Ledge clamps
 - Midspan beams



Fondo toro esférico conforme a DIN 28011



Slawinski heads and custom-pressed units are in great demand in European markets. Materials, designs and individual heads not included in the normal programme are subject of special orders.

Material specification and calculation of wall thickness is the customer's responsibility.

Method: cold worked (dishing and flanging or pressing)

Material: ferritic, austenitic and non ferritic metals, if they can be cold worked

Dimensions: up to 5400 mm diameter depending upon thickness of material and wall thickness up to 32 mm depending upon material and diameter; custom forms and dimensions on request

Half tube spiral: either tacked or permanently welded as required

Surface treatment:

- Polishing: internally and externally to 0,2 μm surface smoothness for diameters up to 5200mm
- Pickling: for stainless steel heads
- Blasting: sand-blasting for ferritic steels and glass granulate blasting for austenitic steels

Edge preparation: if required

Joggling: heads of 1000 mm to 2500 mm diameter with wall thickness up to 8 mm

Approvals: for Material Manufacturer acc. to European Directive 97/23/EC, ASME U, AD 2000 - W O/TRD 100 and AD 2000 - HP O/TRC 201 by TÜV, SVDB 501 by SVTI and DIN EN ISO 9001:2000

Inspections: by TÜV or other inspection companies

Testing of materials: non-destructive or destructive with certificate

Welding of circular blanks: by means of high-tech welding plant operated by qualified staff

1.5. CONDUCCIONES Y ACCESORIOS

**DIMENSIONES Y PESOS DE LOS TUBOS
SEGUN NORMAS ASME
B36.10 y B36.19 (con y sin soldadura)**



Tubería ASTM A312

NPS	OD mm.	5S	10S	10	20	30	Std. 40S	40	60	XS 80S	80	100	120	140	160	XXS
1/8"	10,29		1,24 0,28				1,73 0,37	1,73 0,37		2,41 0,47	2,41 0,47					
1/4"	13,72		1,65 0,49				2,24 0,64	2,24 0,64		3,02 0,82	3,02 0,82					
3/8"	17,15		1,65 0,63				2,31 0,87	2,31 0,87		3,20 1,12	3,20 1,12					
1/2"	21,3	1,65 0,81	2,11 1,02	2,11 1,02			2,77 1,29	2,77 1,29		3,73 1,64	3,73 1,64				4,75 1,97	7,47 2,59
3/4"	26,7	1,65 1,03	2,11 1,30	2,11 1,30			2,87 1,71	2,87 1,71		3,91 2,23	3,91 2,23				5,54 2,93	7,82 3,69
1"	33,4	1,65 1,31	2,77 2,13	2,77 2,13			3,38 2,54	3,38 2,54		4,55 3,29	4,55 3,29				6,35 4,30	9,09 5,53
1 1/4"	42,2	1,65 1,67	2,77 2,73	2,77 2,73			3,56 3,44	3,56 3,44		4,85 4,53	4,85 4,53				6,35 5,69	9,70 7,88
1 1/2"	48,3	1,65 1,93	2,77 3,16	2,77 3,16			3,68 4,11	3,68 4,11		5,08 5,49	5,08 5,49				7,14 7,35	10,16 9,69
2"	60,3	1,65 2,42	2,77 3,99	2,77 3,99			3,91 5,52	3,91 5,52		5,54 7,60	5,54 7,60				8,71 11,26	11,07 13,65
2 1/2"	73,0	2,11 3,75	3,05 5,34	3,05 5,34			5,16 8,77	5,16 8,77		7,01 11,59	7,01 11,59				9,53 15,15	14,02 20,72
3"	88,9	2,11 4,59	3,05 6,56	3,05 6,56			5,49 11,47	5,49 11,47		7,62 15,51	7,62 15,51				11,13 21,67	15,24 28,11
3 1/2"	101,6	2,11 5,25	3,05 7,53	3,05 7,53			5,74 13,78	5,74 13,78		8,08 18,92	8,08 18,92				16,15 34,56	
4"	114,3	2,11 5,93	3,05 8,50	3,05 8,50			6,02 16,32	6,02 16,32		8,56 22,66	8,56 22,66	11,13 28,75			13,49 34,05	17,12 41,66
5"	141,3	2,77 9,61	3,40 11,74	3,40 11,74			6,55 22,10	6,55 22,10		9,53 31,44	9,53 31,44	12,70 40,90			15,88 49,87	19,05 58,31
6"	168,3	2,77 11,47	3,40 14,04	3,40 14,04			7,11 28,69	7,11 28,69		10,91 43,21	10,91 43,21	14,27 55,03			18,24 68,53	21,95 80,43
8"	219,1	2,77 15,00	3,76 20,27	3,76 20,27	6,35 33,82	7,04 37,38	8,18 43,20	8,18 43,20	10,31 53,90	12,70 65,63	12,70 65,63	15,06 76,93	18,24 91,73	20,62 102,47	23,01 112,97	22,23 109,57
10"	273,1	3,40 22,95	4,19 28,20	4,19 28,20	6,35 42,41	7,80 51,81	9,27 61,22	9,27 61,22	12,70 82,80	12,70 82,80	15,06 97,27	18,24 116,38	21,41 134,90	25,40 157,51	28,58 174,95	25,40 157,51
12"	323,9	3,96 31,72	4,57 36,54	4,57 36,54	6,35 50,48	8,38 66,20	9,53 75,01	10,31 80,94	14,27 110,62	12,70 98,95	17,45 133,88	21,41 162,14	25,40 189,82	28,58 211,31	33,32 242,40	25,40 189,82
14"	355,6	3,96 34,86	4,78 41,99	6,35 55,53	7,92 68,95	9,53 82,58	9,53 82,58	11,13 96,00	15,06 128,42	12,70 109,04	19,05 160,54	23,80 197,74	27,76 227,88	31,75 257,47	35,71 286,04	
16"	406,4	4,19 42,20	4,78 48,07	6,35 63,61	7,92 79,03	9,53 94,70	9,53 94,70	12,70 125,20	16,66 162,59	12,70 125,20	21,41 206,40	26,19 249,34	30,94 290,88	36,53 338,32	40,46 370,74	
18"	457,2	4,19 47,46	4,78 54,15	6,35 71,69	7,92 89,10	11,13 124,32	9,53 106,83	14,27 158,27	19,05 209,00	12,70 141,35	23,80 258,29	29,36 314,54	34,93 369,34	39,67 414,75	45,24 466,67	
20"	508,0	4,78 60,23	5,54 69,70	6,35 79,76	9,53 118,95	12,70 157,51	9,53 118,95	15,06 185,89	20,62 251,65	12,70 157,51	26,19 315,97	32,54 387,41	38,10 448,30	44,45 515,94	49,99 573,31	

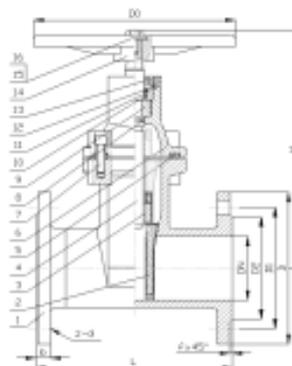
Temperatura	Variedades (B)	Limite Max. trabajo (A)	3"		3 1/2"		4"		5"		6"		8"		10"		12"	
			Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.			
C°	AISI	h/bar	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S	5S	10S
-29° a + 38°	304	10,840	45	66	40	58	35	51	37	46	31	38	24	33	23	29	23	27
	321-347	10,840	45	66	40	58	35	51	37	46	31	38	24	33	23	29	23	27
	316(2)	10,840	45	66	40	58	35	51	37	46	31	38	24	33	23	29	23	27
93°	304	9,590	40	59	35	51	31	45	33	41	28	34	21	29	21	26	20	24
	321-347	10,840	45	66	40	58	35	51	37	46	31	38	24	33	23	29	23	27
	316(2)	10,840	45	66	40	58	35	51	37	46	31	38	24	33	23	29	23	27
149°	304	8,640	36	53	31	46	28	41	30	37	25	31	19	26	19	23	18	21
	321-347	9,790	41	60	36	52	32	46	34	42	28	35	21	29	21	26	21	24
	316(2)	10,300	43	63	38	55	33	49	35	44	30	37	23	31	22	28	22	25

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

AISI	Werkstoff No.	C Max	COMPOSICIÓN QUÍMICA %														Varios	Otros
			Ni	Cr	Fe	Ti	Mo	Cu	Co	Al	Si	Mn	S Max	P Max				
AISI 304	1.4301	0,08	8-11	18-20	Resto							<=0,75	<=2,00	0,03	0,04			
AISI 304 L	1.4306	0,03	8-11	18-20	Resto							<=0,75	<=2,00	0,03	0,04			
AISI 316	1.4401	0,08	11-14	16-18	Resto		2-3					<=0,75	<=2,00	0,03	0,04			
AISI 316 L	1.4404	0,03	11-14	16-18	Resto		2-3					<=0,75	<=2,00	0,03	0,04			
AISI 316 TI	1.4571	0,08	11-14	16-18	Resto	>=5xC <=0,60	2-3					<=0,75	<=2,00	0,03	0,04			
AISI 321	1.4541	0,08	9-13	17-20	Resto	>=5xC <=0,60						<=0,75	<=2,00	0,03	0,04			
AISI 347	1.4550	0,15	9-13	17-20	Resto							<=0,75	<=2,00	0,03	0,04	Nb +Ta e 10xC d 1,0		
AISI 309	1.4828	0,15	9-13	22-24	Resto							<=0,75	<=2,00	0,03	0,04			
AISI 310	1.4841	0,15	19-22	24-26	Resto							<=0,75	<=2,00	0,03	0,04			
Alloy 904 L	1.4539	0,020	23-28	20-21			4-5	1-2				1,00	2,00	0,035	0,045		N:0,05 0,10	
Manel 400	2.436/61	0,30	>=63		<=2,5			28-34		<=0,50	<=0,50	<=2,00	0,02					
Incoloy 825	2.4858	0,05	38-46	19 ^o -23 ^o	Resto	0,16-1,2	2 ^o -3 ^o	1,5-3,0				<=0,50	<=1,0					

ARTICULO : 2102 / D2102
Válvula de compuerta con cierre de EPDM
Gate valve with EPDM closing

Características	Features
1. Válvula de compuerta con cierre elástico. 2. Construcción en fundición nodular EN-GJS-500 (GGG-50). 3. Compuerta recubierta con EPDM. 4. Vástago no ascendente. 5. Cierre en sentido de las agujas del reloj. 6. Diseño según DIN 3352. 7. Longitud entre caras según DIN 3202 F4. 8. Extremos bridados según DIN 2501 PN 16. 9. Apta para conducción de agua. 10. Paso total, mínima pérdida de carga. 11. Estanqueidad en ambas direcciones. 12. Pares de maniobra reducidos. 13. Recubrimiento interior y exterior con pintura epoxy. 14. Temperatura Máxima de trabajo: 80°C.	1. Gate valve with elastic closing. 2. Made by Ductile Iron EN-GJS-500 (GGG-50). 3. Wedge coated EPDM. 4. Non-rising stem. 5. Clockwise for close valve. 6. Design according to DIN 3352. 7. Face to Face according DIN 3202 F4. 8. Flanges end according DIN 2501 PN 16. 9. Suitable medium: Water. 10. Full Port, minimum head losses. 11. Bidirectional installation. 12. Reduced torque. 13. Inside & Outside with Epoxy coating. 14. Max. Working temp. 80°C.



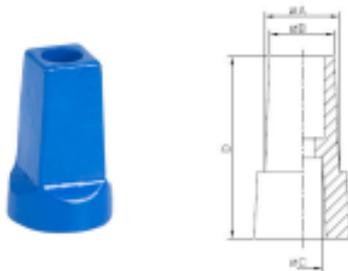
Nº	Denominación / Name	Material	Acabado Superficial / Surface Treatment
1	Cuerpo / Body	Fundición Nodular / Ductile Iron EN-GJS-500	Pintura epoxi / Epoxy coating
2	Compuerta / Wedge Body	Fundición Nodular / Ductile Iron EN- GJS-400 + EPDM	-----
3	Tuerca del Eje / Stem Nut	Latón / Brass	-----
4	Eje / Stem	AISI 410	-----
5	Junta Cuerpo / Body Gasket	EPDM	-----

Nº	Denominación / Name	Material	Acabado Superficial / Surface Treatment
6	Tapa / Bonnet	Fundición Nodular / Ductile Iron EN-GJS-500	Pintura epoxi / Epoxy coating
7	Tornillo / Screw	Acero Carbono / Carbon Steel	-----
8	Tórica / O'ring	EPDM	-----
9	Separador / Locating Ring	Acero Inoxidable / Stainless Steel	-----
10	Tórica / O'ring	EPDM	-----
11	Tuerca prensaestopas / Packing Nut	Latón / Brass	-----
12	Arandela / Washer	Nylon	-----
13	Tapón anti-polvo / Anti-Dust ring	Plástico ABS / ABS Plastic	-----
14	Volante / Handwheel	Acero Carbono / Carbon Steel	Pintura epoxi / Epoxy coating
15	Arandela / Washer	Acero Carbono / Carbon Steel	Cincado / Zinc PLated
16	Tornillo / Screw	Acero Carbono / Carbon Steel	Cincado / Zinc PLated

DIMENSIONES GENERALES / GENERAL DIMENSIONS

Ref	Medida / Size	PN	Dimensiones / Dimensions (mm)										Peso / Weight (Kg)
			DN	H	L	D	D0	D1	D2	b	f	z-d	
2102 09	2"	16	50	240	150	165	180	125	99	19	3	4-19	9,5
2102 10	2 1/2"	16	65	270	170	185	200	145	118	19	3	4-19	13
2102 11	3"	16	80	300	180	200	200	160	132	19	3	8-19	15
2102 12	4"	16	100	330	190	220	220	180	156	19	3	8-19	19
2102 13	5"	16	125	375	200	250	250	210	184	19	3	8-19	26
2102 14	6"	16	150	425	210	285	250	240	211	19	3	8-23	35
2102 16	8"	16	200	515	230	340	280	295	266	20	3	12-23	57
2102 18	10"	16	250	600	250	405	320	355	319	22	3	12-28	76
2102 20	12"	16	300	685	270	460	350	410	370	24.5	4	12-28	120

ADAPTADOR OPCIONAL / OPCIONAL ADAPTER (Ref. D2102)



Ref.	Medida / Size	A	B	C	D
D2102 09	2" – 4"	31	29	12.5	45
D2102 13	5" – 6"	31	29	17.5	45
D2102 16	8"	31.5	29	17.5	76
D2102 18	10" – 12"	31.5	29	21.5	76



I Aplicación

Las válvulas de diafragma NDL (Non Dead Leg T Valve) de accionamiento manual o neumático, están especialmente diseñadas para usos en procesos asépticos en la industria farmacéutica. Su principal aplicación son los puntos de uso para lazos de agua purificada (PW) o agua para inyectables (WFI).

I Principio de funcionamiento

El diafragma proporciona el cierre entre el cuerpo y bonete. No hay ningún contacto con el ambiente exterior y por eso la válvula es adecuada para procesos asépticos. Mediante el cierre de la válvula, el compresor presiona el diafragma sobre el asiento del cuerpo. Con el movimiento del compresor el diafragma se deforma y es forzado sobre el área del asiento, en el centro del cuerpo, cerrando el paso de flujo del producto.

La válvula puede ser accionada manual o neumáticamente, controlada mediante cabezales de control y electroválvulas.

A diferencia de una válvula estándar de diafragma cuya función es la de cierre de una línea, la válvula tipo NDL tiene como función el cierre de una salida de producto de la línea principal.

I Diseño y características

Gracias al diseño de este tipo de válvula el espacio muerto en un punto de uso, comparado con una válvula de diafragma normal, se reduce al mínimo.

Esta condición es preferida en normativas como la ASME BPE de farmacia.



El diseño modular con componentes comunes entre diferentes tamaños, permite una amplia gama y flexibilidad de configuración.

Bonetes y manetas de inoxidable esterilizables en autoclaves.

Accionamiento manual con limitador de carrera.

Manetas con diseño higiénico.

El cuerpo de la válvula está mecanizado completamente de bloque de inoxidable.

Válvula completamente drenable.

Trazabilidad de componentes.

I Especificaciones técnicas

Materiales:

Piezas en contacto con el producto	Acero inoxidable AISI 316L (1.4404)
Otras piezas de inoxidable	Acero inoxidable AISI 304 (1.4301)
Piezas de plástico	PP + 30 GF
Diafragma	EPDM (según FDA 177.2600 y USP Class VI)

Acabado superficial:

Interno	Ra ≤ 0,5 µm
Externo	Pulido brillante

Tamaños disponibles	DN ½" - DN 3"
---------------------	---------------

Conexiones	Clamp OD / Soldar
------------	-------------------



Válvula de Diafragma

I Especificaciones técnicas

Límites de operación:

Tª máxima trabajo (accionamiento inox)	-20 °C a +90 °C (EPDM)	-4°F a +194°F
	+140 °C (SIP, máx. 30 min)	284°F
Presión máxima trabajo (según modelo)	10 bar	145 PSI
Presión aire comprimido	6-8 bar	87-116 PSI

I Opciones

Diafragma en FPM, VMQ (según FDA 177.2600 y USP class VI)

y PTFE / EPDM separada (según FDA 177.2600).

Bonete en acero inoxidable con maneta en acero inoxidable o plástico.

Actuador neumático con limitador de carrera.

Actuador neumático con detector externo.

Cabezal de control con detectores y electroválvulas.

Certificados de material y rugosidad.

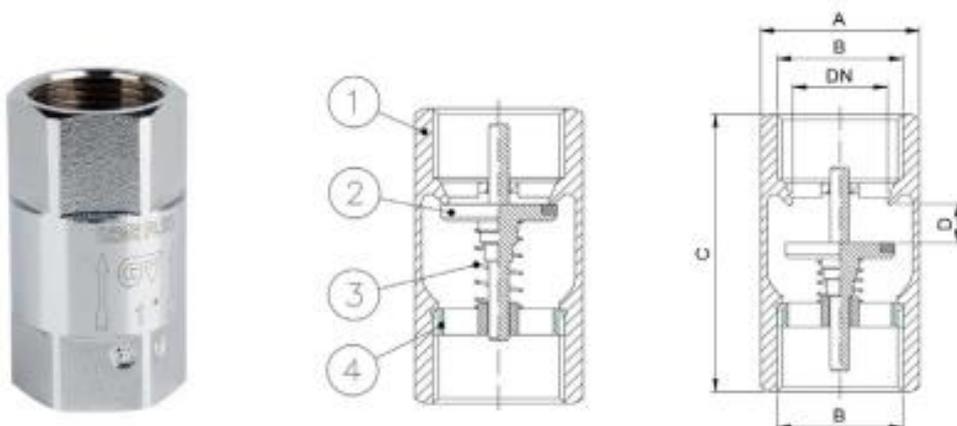
I Presiones admisibles

Tamaño	DN	Manual		Automática	
	Punto Uso	[bar]	[PSI]	[bar]	[PSI]
Nº1	½"	10	145	8	116
Nº2	¾"	10	145	8	116
	1"				
Nº3	1½"	10	145	8	116
Nº4	2"	6	87	6	87

Art.: 3122PN

Válvula de retención "REGE PLUS" / "REGE PLUS" Check valve

Características	Features
1. Válvula de retención monobloque.	1. Single body check valve.
2. Construcción en latón forjado s/ UNE-EN 12165.	2. Hot-forging brass according to UNE-EN 12165.
3. Extremos rosca NPT hembra-hembra (H-H) según ANSI / ASME B1.20.1	3. NPT threaded female-female (F-F) ends according ANSI / ASME B1.20.1
4. Temperatura de funcionamiento: Aire: -20° C a 100° C. Gas: -20° C a 60° C. Aqua: 0° C a 90° C.	4. Working temperature: Air: -20 °C to 100° C. Gas: -20 °C to 60° C. Water: 0 °C to 90° C.
5. Presión máxima de trabajo 25/18 bar (350/250 psi) (ver tabla).	5. Maximum working pressure 25/18 bar (350/250 psi) (see table).
6. Apta para todo tipo de instalaciones industriales, neumáticas e hidráulicas	6. Suitable for all kind of industrial, pneumatic and hydraulic installations.
7. Montaje en cualquier posición	7. Install in any position.
8. Junta de clapeta vulcanizada de NBR	8. Vulcanized NBR gasket plate.
9. Muelle en acero inoxidable AISI 304	9. Stainless steel spring AISI 304.
10. Acabado interior y exterior cromado	10. Chrome plated interior and exterior.



Nº	Denominación / Name	Material	Acabado Superficial / Surface Treatment
1	Cuerpo / Body	Latón / Brass (CW617N)	Granallado + Cromado + Mecanizado / Peened + Chromed + Machining
2	Clapeta / Plate	Latón + NBR / Brass + NBR	Granallado + Mecanizado + Vulcanizado / Peened + Machining + Vulcanized
3	Muelle / Spring	Acero Inox. / S.Steel (AISI 304)	-
4	Anillo / Ring	Latón / Brass (CW617N)	Granallado + Cromado / Peened + Chromed

Ref.	Medida / Size	DN	Dimensiones / Dimensions (mm)				Peso / Weight (Kg)
	B		PN (psi)	ØA	C	D	
3122PN 04	1/2"	15	350	27.5	57	7.8	0,110
3122PN 05	3/4"	20	350	34.5	64	10.8	0,190
3122PN 06	1"	25	350	42	75	10.3	0,285
3122PN 07	1 1/4"	32	250	51.5	82	12.4	0,405
3122PN 08	1 1/2"	40	250	62.5	93	13	0,583
3122PN 09	2"	50	250	77.5	100	15	0,885

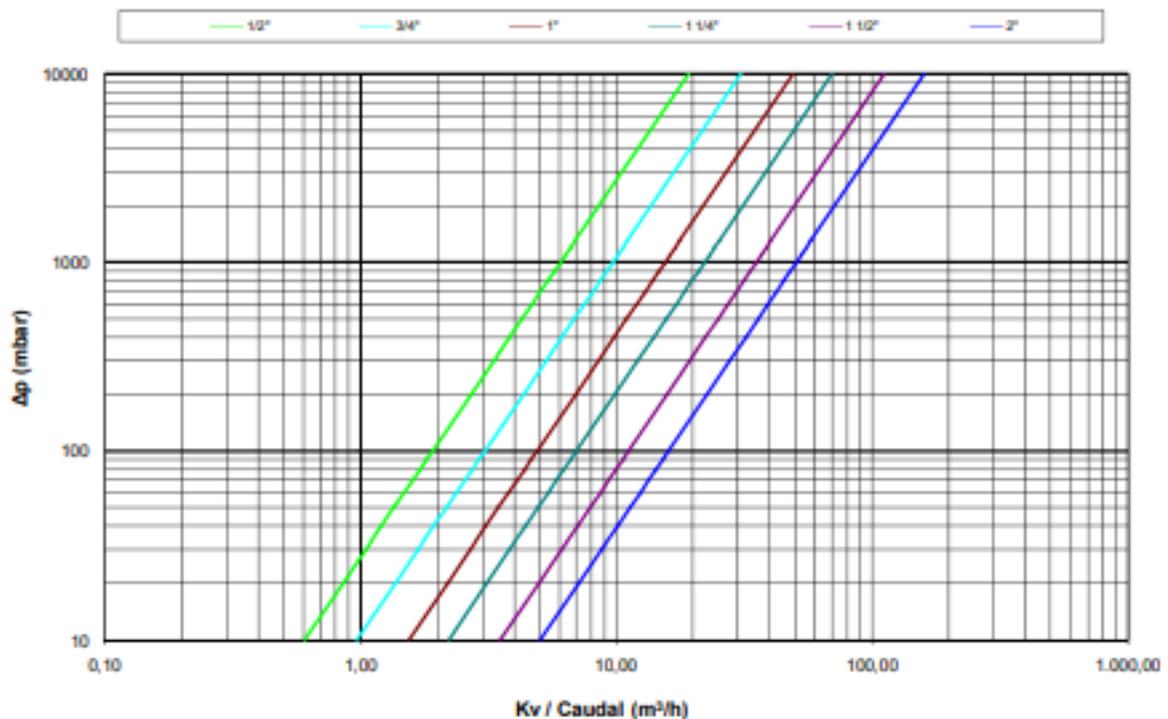
DIAGRAMA PÉRDIDA DE CARGA / HEAD LOSS CHART
(Válvula retención / Check valve)

Valores de Kv / Kv Values:

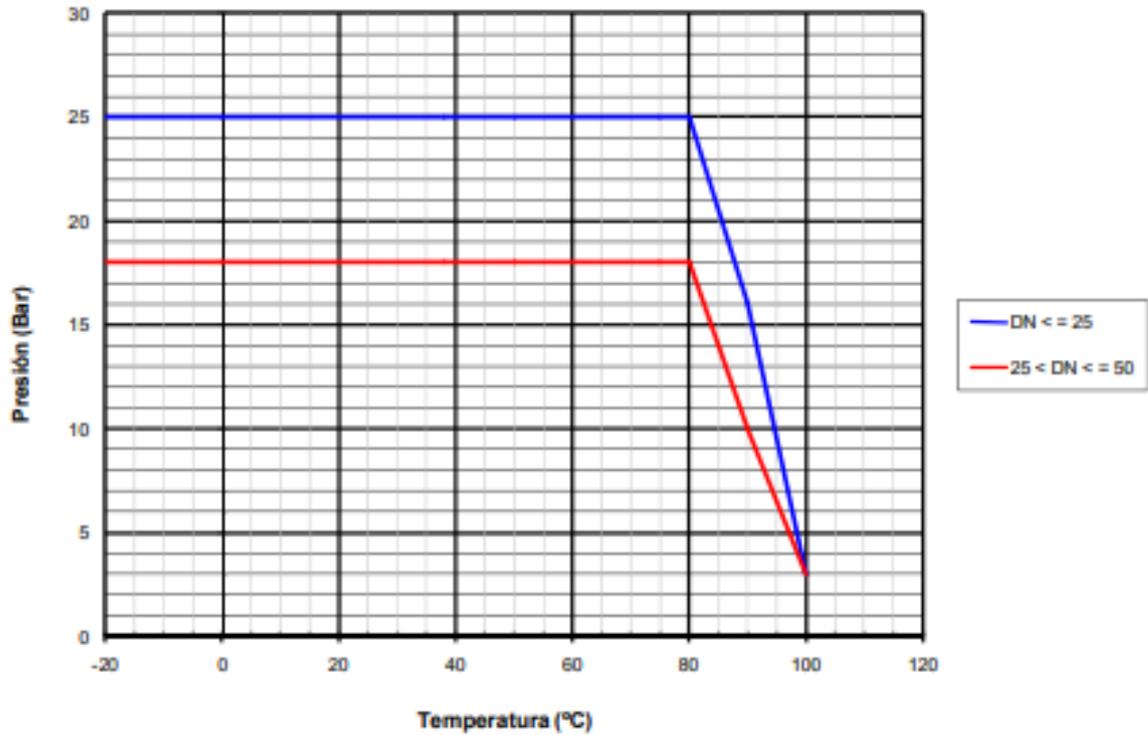
Kv = Es la cantidad de metros cúbicos por hora que pasará a través de la válvula generando una pérdida de carga de 1 bar.

Kv = The flow rate of water in cubic meters per hour that will generate a pressure drop of 1 bar across the valve.

Medida / Size	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Kv	6.05	9.7	15.5	22.1	35.3	50.6



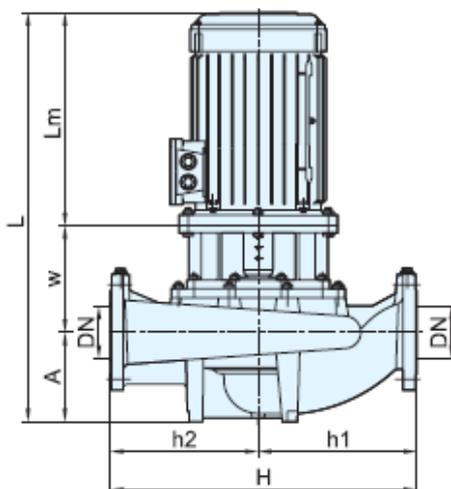
CURVA PRESIÓN - TEMPERATURA / PRESSURE - TEMPERATURE RATING



PRESIÓN MÍNIMA DE APERTURA / MINIMUM OPENING PRESSURE
 (Válvula de retención roscada 3122P / Threaded ends check valve 3122P)

Medida / Size	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
mbar	23	26	25	18	31	14

Dimensiones/Dimensions



2900 RPM

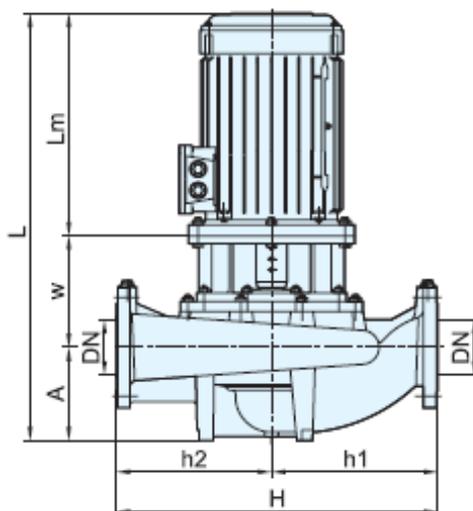
Tipo Type	MOTOR		Dimensiones/Dimensions							DN PN10
	HP	KW	A	w	Lm	L	H	h1	h2	
RNL 40-125	1,5	1,1	75	160	230	465	300	160	140	40
	2	1,5	75	185	258	518	300	160	140	40
	3	2,2	75	185	258	518	300	160	140	40
	4	3	75	185	298	558	300	160	140	40
RNL 40-160	4	3	75	185	298	558	340	180	160	40
	5,5	4	75	185	325	585	340	180	160	40
	7,5	5,5	75	215	358	648	340	180	160	40
RNL 40-200	5,5	4	75	185	325	585	380	200	180	40
	7,5	5,5	75	215	358	648	380	200	180	40
	10	7,5	75	215	358	648	380	200	180	40
	15	11	75	255	476	806	380	200	180	40
RNL 50-125	2	1,5	90	185	258	533	300	160	140	50
	3	2,2	90	185	258	533	300	160	140	50
	4	3	90	185	298	573	300	160	140	50
	5,5	4	90	185	325	600	300	160	140	50
RNL 50-200	10	7,5	90	215	358	663	425	225	200	50
	15	11	90	255	476	821	425	225	200	50
	20	15	90	255	476	821	425	225	200	50
RNL 50-250	15	11	90	255	476	821	475	250	225	50
	20	15	90	255	476	821	475	250	225	50
	25	18,5	90	255	476	821	475	250	225	50
	30	22	90	255	519	864	475	250	225	50
RNL 65-125	4	3	110	185	298	593	340	180	160	65
	5,5	4	110	185	325	620	340	180	160	65
	7,5	5,5	110	215	358	683	340	180	160	65
RNL 65-160	7,5	5,5	110	215	358	683	380	220	180	65
	10	7,5	110	215	358	683	380	200	180	65
	15	11	110	255	476	841	380	200	180	65
	20	15	110	255	476	841	475	250	225	65
RNL 65-200	15	11	110	255	476	841	475	250	225	65
	20	15	110	255	476	841	475	250	225	65
	25	18,5	110	255	476	841	475	250	225	65
	30	22	110	255	519	884	475	250	225	65

Tipo Type	MOTOR		Dimensiones/Dimensions							DN PN10
	HP	KW	A	w	Lm	L	H	h1	h2	
RNL 65-250	20	15	110	255	476	841	475	250	225	65
	25	18,5	110	255	476	841	475	250	225	65
	30	22	110	255	519	884	475	250	225	65
RNL 80-125	5,5	4	130	185	325	640	380	220	180	80
	7,5	5,5	130	215	358	703	380	200	180	80
	10	7,5	130	215	358	703	380	200	180	80
RNL 80-160	10	7,5	130	215	358	703	425	225	200	80
	15	11	130	255	476	861	425	225	200	80
	20	15	130	255	476	861	425	225	200	80
	25	18,5	130	255	476	861	425	225	200	80
RNL 80-200	20	15	130	255	476	861	475	250	225	80
	25	18,5	130	255	476	861	475	250	225	80
	30	22	130	255	519	904	475	250	225	80
RNL 100-160	15	11	150	255	476	881	475	250	225	100
	20	15	150	255	476	881	475	250	225	100

50Hz

1.6. BOMBAS

Dimensiones/Dimensions



1450 RPM

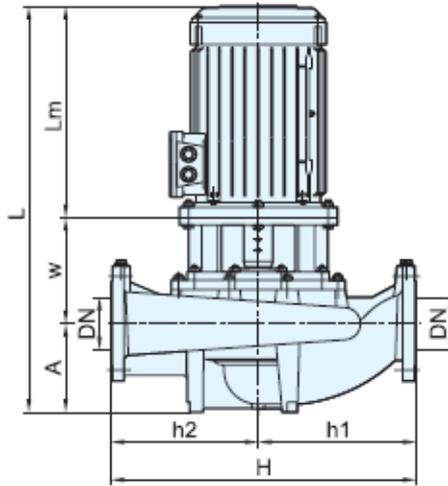
Tipo Type	MOTOR		Dimensiones/Dimensions							DN PN10
	HP	KW	A	w	Lm	L	H	h1	h2	
RNL 40-125	0,16	0,12	75	160	185	420	300	160	140	40
	0,24	0,18	75	160	185	420	300	160	140	40
	0,33	0,25	75	160	213	448	300	160	140	40
	0,5	0,37	75	160	213	448	300	160	140	40
RNL 40-160	0,5	0,37	75	160	213	448	340	180	160	40
	0,75	0,55	75	160	230	465	340	180	160	40
	1	0,75	75	160	230	465	340	180	160	40
RNL 40-200	0,75	0,55	75	160	230	465	380	200	180	40
	1	0,75	75	160	230	465	380	200	180	40
	1,5	1,1	75	185	258	518	380	200	180	40
RNL 50-125	0,33	0,25	90	160	213	463	300	160	140	50
	0,5	0,37	90	160	213	463	300	160	140	50
	0,75	0,55	90	160	230	480	300	160	140	50
RNL 50-160	0,5	0,37	90	160	213	463	340	180	160	50
	0,75	0,55	90	160	213	463	340	180	160	50
	1	0,75	90	160	230	480	340	180	160	50
	1,5	1,1	90	160	258	508	340	180	160	50
RNL 50-200	1	0,75	90	160	230	480	425	225	200	50
	1,5	1,1	90	185	258	533	425	225	200	50
	2	1,5	90	185	258	533	425	225	200	50
RNL 50-250	2	1,5	90	185	258	533	475	250	225	50
	3	2,2	90	185	298	573	475	250	225	50
	4	3	90	185	298	573	475	250	225	50
	4	3	90	185	298	573	475	250	225	50
RNL 65-125	0,5	0,37	110	160	213	483	340	180	160	65
	0,75	0,55	110	160	230	500	340	180	160	65
	1	0,75	110	160	230	500	340	180	160	65
RNL 65-160	1	0,75	110	160	230	500	380	200	180	65
	1,5	1,1	110	185	258	553	380	200	180	65
	2	1,5	110	185	258	553	380	200	180	65
RNL 65-200	2	1,5	110	185	258	553	475	250	225	65
	3	2,2	110	185	298	593	475	250	225	65
	4	3	110	185	298	593	475	250	225	65
	4	3	110	185	298	593	475	250	225	65
RNL 65-250	3	2,2	110	185	298	593	475	250	225	65
	4	3	110	185	298	593	475	250	225	65
	5,5	4	110	185	325	620	475	250	225	65
	7,5	5,5	110	185	375	670	475	250	225	65

Tipo Type	MOTOR		Dimensiones/Dimensions							DN PN10
	HP	KW	A	w	Lm	L	H	h1	h2	
RNL 65-315	5,5	4	130	200	325	655	560	280	280	65
	7,5	5,5	130	230	358	718	560	280	280	65
	10	7,5	130	230	399	759	560	280	280	65
	15	11	130	270	476	876	560	280	280	65
RNL 80-125	0,5	0,37	130	160	213	503	380	200	180	80
	0,75	0,55	130	160	230	520	380	200	180	80
	1	0,75	130	160	230	520	380	200	180	80
	1,5	1,1	130	185	258	573	380	200	180	80
RNL 80-160	1,5	1,1	130	185	258	573	425	225	200	80
	2	1,5	130	185	258	573	425	225	200	80
	3	2,2	130	185	298	613	425	225	200	80
RNL 80-200	3	2,2	130	185	298	613	475	250	225	80
	4	3	130	185	298	613	475	250	225	80
	5,5	4	130	185	325	640	475	250	225	80
	7,5	5,5	130	200	358	703	475	250	225	80
RNL 80-250	3	2,2	140	200	298	638	560	280	280	80
	4	3	140	200	298	638	560	280	280	80
	5,5	4	140	230	325	695	560	280	280	80
	7,5	5,5	140	230	358	728	560	280	280	80
RNL 80-315	7,5	5,5	150	230	358	738	595	315	280	80
	10	7,5	150	230	399	779	595	315	280	80
	15	11	150	270	476	896	595	315	280	80
	20	15	150	270	476	896	595	315	280	80
RNL 100-160	2	1,5	150	125	258	533	475	250	225	100
	3	2,2	150	125	298	573	475	250	225	100
	4	3	150	135	298	583	475	250	225	100
RNL 100-200	3	2,2	170	200	258	628	525	275	250	100
	4	3	170	200	298	668	525	275	250	100
	5,5	4	170	230	325	725	525	275	250	100
	7,5	5,5	170	230	358	758	525	275	250	100
RNL 100-250	5,5	4	170	200	325	695	580	300	280	100
	7,5	5,5	170	230	358	758	580	300	280	100
	10	7,5	170	230	399	799	580	300	280	100
	15	11	170	270	476	916	580	300	280	100
RNL 100-315	10	7,5	160	230	399	789	670	355	315	100
	15	11	160	270	476	906	670	355	315	100
	20	15	160	270	476	906	670	355	315	100
	25	18,5	160	270	519	949	670	355	315	100
	25	18,5	160	270	519	949	670	355	315	100

50Hz

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

Dimensiones/Dimensions



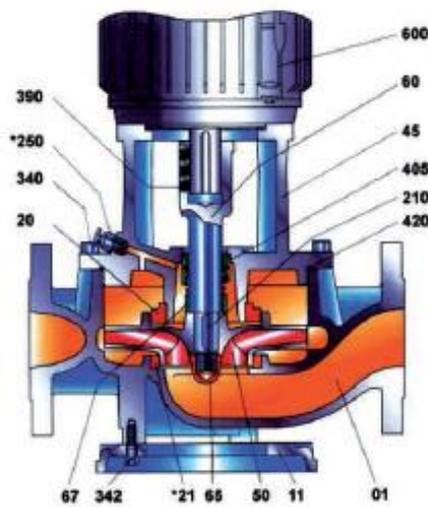
3500 RPM / 2 poles

60Hz

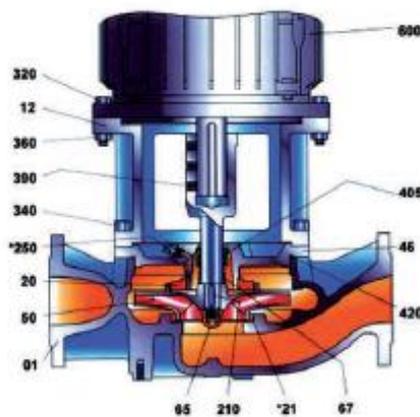
Tipo Type	MOTOR		Dimensiones/Dimensions							DN PN10
	HP	KW	A	w	Lm	L	H	h1	h2	
RNL 40-160	3	2,2	80	160	317	556,5	320	160	160	40
	4	3	80	180	352	612	320	160	160	40
	5,5	4	80	180	396	655,5	320	160	160	40
	7,5	5,5	80	200	441	720,5	320	160	160	40
	10	7,5	80	200	476	755,5	320	160	160	40
RNL 40-200	15	11	80	230	576	886	320	160	160	40
	7,5	5,5	95	213	441	748,5	380	190	190	40
	10	7,5	95	200	476	770,5	380	190	190	40
	15	11	95	230	576	901	380	190	190	40
RNL 40-250	20	15	95	230	576	901	380	190	190	40
	25	18,5	100	230	576	906	440	215	225	40
	30	22	100	230	629	959	440	215	225	40
	40	30	100	230	665	995	440	215	225	40
RNL 50-160	4	3	100	180	352	632	360	180	180	50
	5,5	4	100	180	396	675,5	360	180	180	50
	7,5	5,5	100	200	441	740,5	360	180	180	50
	10	7,5	100	200	476	775,5	360	180	180	50
	15	11	100	230	576	906	360	180	180	50
RNL 50-200	7,5	5,5	110	213	441	753,5	400	200	200	50
	10	7,5	110	200	476	785,5	400	200	200	50
	15	11	110	230	576	916	400	200	200	50
	20	15	110	230	576	916	400	200	200	50
	25	18,5	110	230	576	916	400	200	200	50
RNL 50-250	30	22	110	230	629	969	400	200	200	50
	25	18,5	115	230	576	921	440	215	225	50
	30	22	115	230	629	974	440	215	225	50
	40	30	115	230	665	1010	440	215	225	50
	50	37	115	230	665	1010	440	215	225	50
RNL 65-160	60	45	115	260	735	1110	440	215	225	50
	5,5	4	115	180	396	690,5	400	200	200	65
	7,5	5,5	115	200	441	755,5	400	200	200	65
	10	7,5	115	200	476	790,5	400	200	200	65
	15	11	115	230	576	921	400	200	200	65
RNL 65-200	20	15	115	230	576	921	400	200	200	65
	25	18,5	115	230	576	921	400	200	200	65
	30	22	115	230	576	921	400	200	200	65

Tipo Type	MOTOR		Dimensiones/Dimensions							DN PN10
	HP	KW	A	w	Lm	L	H	h1	h2	
RNL 65-200	10	7,5	115	213	476	803,5	460	230	230	65
	15	11	115	230	576	921	460	230	230	65
	20	15	115	230	576	921	460	230	230	65
	25	18,5	115	230	576	921	460	230	230	65
	30	22	115	230	629	974	460	230	230	65
	40	30	115	230	665	1010	460	230	230	65
RNL 65-250	40	30	135	270	665	1070	480	245	235	65
	50	37	135	230	665	1030	480	245	235	65
	60	45	135	260	735	1130	480	245	235	65
	75	55	135	260	886	1281	480	245	235	65
RNL 80-160	10	7,5	135	213	476	823,5	440	220	220	80
	15	11	135	230	576	941	440	220	220	80
	20	15	135	230	576	941	440	220	220	80
	25	18,5	135	230	576	941	440	220	220	80
	30	22	135	230	629	994	440	220	220	80
RNL 80-200	40	30	135	230	665	1030	440	220	220	80
	30	22	140	230	629	999	500	250	250	80
	40	30	140	230	665	1035	500	250	250	80
	50	37	140	230	665	1035	500	250	250	80
	60	45	140	260	735	1135	500	250	250	80
RNL 80-250	75	55	140	260	886	1286	500	250	250	80
	40	30	145	270	665	1080	550	270	280	80
	50	37	145	230	665	1040	550	270	280	80
	60	45	145	260	735	1140	550	270	280	80
RNL 100-160	75	55	145	270	886	1301	550	270	280	80
	25	18,5	155	230	576	961	500	250	250	100
	30	22	155	230	629	1014	500	250	250	100
	40	30	155	230	665	1050	500	250	250	100
RNL 100-200	50	37	155	230	665	1050	500	250	250	100
	40	30	180	270	665	1115	550	275	275	100
	50	37	180	230	665	1075	550	275	275	100
	60	45	180	260	735	1175	550	275	275	100
RNL 125-200	75	55	180	270	886	1336	550	275	275	100
	60	45	210	270	735	1215	600	300	300	125
	75	55	210	270	886	1366	600	300	300	125

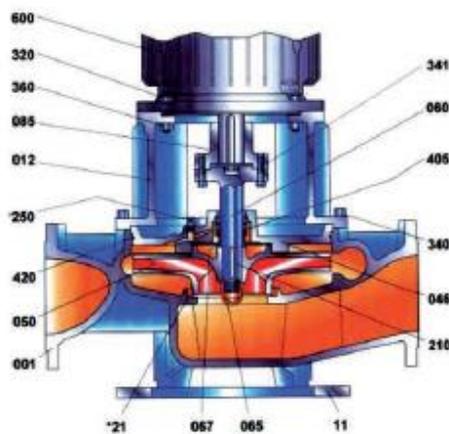
Secciones/Sections



DISEÑO N.º 1
DESIGN N.º 1



DISEÑO N.º 2
DESIGN N.º 2



DISEÑO N.º 3
DESIGN N.º 3

Secciones

- 01 Cuerpo de bomba
- 11 Soporte base
- 12 Soporta motor
- 20 Aro desgaste
- *21 Aro desgaste
- 45 Tapa cierre mecánico
- 46 Tapa cierre mecánico
- 50 Rodete
- 60 Eje bomba
- 65 Tuerca sujeción rodete
- 67 Casquillo eje
- 85 Acoplamiento rígido
- 210 Chaveta
- 250 Tapón cebado
- 320 Tomillería exagonal
- 321 Tomillería exagonal
- 340 Tomillería
- 341 Tomillería
- 342 Tomillería
- 343 Tomillería
- 360 Tuerca exagonal
- 370 Arandela plana
- 390 Prisionero
- 391 Espaciador
- 405 Cierre mecánico
- 420 Junta tórica
- 600 Motor

Sections

- 01 Volute casing
- 11 Base plate (foot)
- 12 Motor bracket
- 20 Wear ring
- *21 Wear ring
- 45 Mechanical seal cover
- 46 Mechanical seal cover
- 50 Impeller
- 60 Pump shaft
- 65 Impeller nut
- 67 shaft sleeve
- 85 Rigid coupling
- 210 Impeller key
- 250 Air vent screw
- 320 Hex. head bolt
- 321 Hex. head bolt
- 340 Bolt
- 341 Bolt
- 342 Bolt
- 343 Bolt
- 360 Hex. nut
- 370 Washer
- 390 Pin
- 391 Space adjustment piece
- 405 Mechanical seal
- 420 O-ring
- 600 Electric motor

(*) Opcional/(*) Options

1.7. COMPRESORES

Compresores para biogás – Serie VMX

Equipos compresores de tornillo lubricados con aceite

Campos de aplicación

Compresión de biometano y biogás
Otros gases de proceso, por ejemplo, gases mezclados con CH₄

5 tamaños para los siguientes caudales volumétricos* máximos:

VMX 45	VMX 75	VMX 110	VMX 160	VMX 250
300 m ³ /h	500 m ³ /h	900 m ³ /h	1.400 m ³ /h	2.600 m ³ /h

Control del caudal volumétrico con la velocidad de rotación y el bypass. Margen de control del 0 % al 100%

Presión de aspiración elevada: 0,5 bar g máx.

Presión de descarga: 13 bar g máx.



Fase de compresión
de tornillo VMX de AERZEN

Diseño y volumen del suministro

Fase de compresión

Material de la carcasa: hierro dúctil (GGG 40.3 / EN-GJS-400 / ASTM A395)
Rotores: acero forjado (C45N / AISI tipo 1045)
Sellado del eje de accionamiento: sello mecánico lubricado con aceite
Rodamientos: rodamientos de elementos rodantes

Volumen del suministro

Equipo compresor

Filtro de arranque
Sistema de aceite compuesto por:
– Depósito de aceite
– Filtro de aceite
– Refrigerador de aceite
– Válvula de control de la presión del aceite
– Válvula de control de la temperatura del aceite
– Separador de aceite
Refrigerador de gas
Sistema de tuberías interno
Instrumentación y controles

Gama de opciones, por ejemplo:

Equipo con protección acústica o montado en el depósito
Refrigerador de agua, etc.

Para más información, consulte el catálogo V1-020

VMX 110 de AERZEN para comprimir biogás y biometano



* Caudal volumétrico (corresponde al caudal volumétrico de suministro medido según ISO 1217 y convertido a las condiciones de aspiración de referencia según el Anexo (informativo) F de ISO 1217 [presión de admisión = 1,0 bar / temperatura de entrada = 20 °C, humedad relativa (HR) = 0%])



1.8. N-METILDIETANOLAMINA

SIGMA-ALDRICH®

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA

Website: www.sigmaaldrich.com

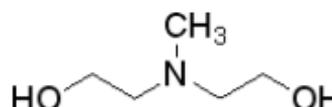
Email USA: techserv@sial.com

Outside USA: eurtechserv@sial.com

Product Specification

Product Name:
N-Methyldiethanolamine - ≥99%

Product Number: 471828
CAS Number: 105-59-9
MDL: MFCD00002848
Formula: C₅H₁₃NO₂
Formula Weight: 119.16 g/mol



TEST

Specification

Appearance (Color)	Colorless to Faint Yellow
Appearance (Form)	Liquid
Infrared spectrum	Conforms to Structure
Purity (GC)	≥ 99.0 %

/

v

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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

Versión 6.1
Fecha de revisión 14.08.2020
Fecha de impresión 30.09.2021

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : **N-Methyldiethanolamine**

Referencia : 471828
Marca : Aldrich
No. Índice : 603-079-00-5
REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior
No. CAS : 105-59-9

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

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Merck Life Science S.L.
Calle Maria de Molina 40
E-28006 MADRID

Teléfono : +34 916 619 977
Fax : +34 916 619 642
E-mail de contacto : serviciotecnico@merckgroup.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Iritación ocular (Categoría 2), H319

2.2 Elementos de la etiqueta

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

Pictograma



Aldrich- 471828

Página 1 de 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

MERCK

Palabra de advertencia	Atención
Indicación(es) de peligro H319	Provoca irritación ocular grave.
Declaración(es) de prudencia P264 P280 P305 + P351 + P338	Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación. Llevar equipo de protección para los ojos/ la cara. 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.
P337 + P313	Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

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

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Sinónimos	: 2,2'-Methyliminodiethanol MDEA N,N-Diethanolmethylamin N,N-Bis(2-hydroxyethyl)methylamine
Formula	: C ₅ H ₁₃ NO ₂
Peso molecular	: 119,16 g/mol
No. CAS	: 105-59-9
No. CE	: 203-312-7
No. Indice	: 603-079-00-5

Componente	Clasificación	Concentración
N-Methyldiethanolamine	Eye Irrit. 2; H319	<= 100 %

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

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales

Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado

Tras inhalación: aire fresco.

En caso de contacto con la piel

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ ducharse.

En caso de contacto con los ojos

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Consultar al oftalmólogo. Retirar las lentillas.

Por ingestión

Tras ingestión: hacer beber agua inmediatamente (máximo 2 vasos). Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

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

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

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Agua Espuma Dióxido de carbono (CO₂) Polvo seco

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Óxidos de carbono, Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Inflamable.

Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo.

En caso de fuerte calentamiento pueden producirse mezclas explosivas con el aire.

En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

5.4 Otros datos

Reprimir los gases/vapores/neblinas con agua pulverizada. Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: No respirar los vapores, aerosoles. Evitar el contacto con la sustancia. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Cubra las alcantarillas. Recoja, una y aspire los derrames. Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger con materiales absorbentes, p. ej. con Chemisorb®. Proceder a la eliminación de los residuos. Aclarar.

6.4 Referencia a otras secciones

Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Bien cerrado.

7.3 Usos específicos finales

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

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados

Sustituir la ropa contaminada. Lavar manos al término del trabajo.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara

Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Gafas de seguridad

Protección de la piel

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Sumerción

Material: goma butílica

espesura mínima de capa: 0,7 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado: Butoject® (KCL 898)

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura mínima de capa: 0,4 mm

Tiempo de penetración: 60 min

Material probado: Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

Protección Corporal

prendas de protección

Protección respiratoria

necesaria en presencia de vapores/aerosoles. Nuestras recomendaciones sobre protección respiratoria se basan en las normas siguientes: DIN EN 143, DIN 14387 y otras normas relativas al uso de la protección respiratoria usada.

Control de exposición ambiental

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a) Aspecto	Forma: claro, líquido viscoso Color: amarillo claro
b) Olor	amoniacal
c) Umbral olfativo	Sin datos disponibles
d) pH	11,5 a 100 g/l a 20 °C
e) Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: -21,3 °C
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	246 - 248 °C - lit.
g) Punto de inflamación	127 °C - copa cerrada
h) Tasa de evaporación	Sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Límite superior de explosividad: 8,8 %(v) Límites inferior de explosividad: 1,4 %(v)
k) Presión de vapor	0,01 hPa a 20 °C
l) Densidad de vapor	4,11 - (Aire = 1.0)
m) Densidad relativa	1,038 gcm ³ a 25 °C
n) Solubilidad en agua	totalmente miscible
o) Coeficiente de reparto n- octanol/agua	log Pow: -1,08
p) Temperatura de auto-inflamación	280 °C a 1.013 hPa
q) Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r) Viscosidad	Sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Aldrich- 471828

Página 5 de 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Constante de disociación	8,52 a 25 °C
Densidad relativa del vapor	4,11 - (Aire = 1.0)

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

En caso de fuerte calentamiento pueden producirse mezclas explosivas con el aire. Debe considerarse crítico un intervalo a partir de aprox. 15 Kelvin por debajo del punto de inflamación.

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiental).

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse

Calentamiento fuerte.

10.5 Materiales incompatibles

Oxidantes, No almacenar conjuntamente con ácidos. Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono, Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles

En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - machos y hembras - 4.680 mg/kg
(Directrices de ensayo 401 del OECD)

Corrosión o irritación cutáneas

Piel - Conejo
Resultado: No irrita la piel
(Directrices de ensayo 404 del OECD)

Lesiones o irritación ocular graves

Ojos - Conejo
Resultado: Irrita los ojos.
(Directrices de ensayo 405 del OECD)

Sensibilización respiratoria o cutánea

Prueba de Maximización - Conejillo de indias
No produce sensibilización en animales de laboratorio.
(Directrices de ensayo 406 del OECD)

Mutagenicidad en células germinales

ensayo in vitro
S.typhimurium
Resultado: negativo
Mutagenicidad (ensayo de micronúcleos)

Aldrich- 471828

Página 6 de 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Ratón - machos y hembras

Resultado: negativo

Carcinogenicidad

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

Toxicidad para la reproducción

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

Peligro de aspiración

Sin datos disponibles

Información Adicional

RTECS: sin datos disponibles

Tos, Insuficiencia respiratoria, Dolor de cabeza, Náusea, Vómitos, Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

Toxicidad para los peces Ensayo estático CL50 - Leuciscus idus (Carpa dorada) - 1.466 mg/l - 96 h

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos Ensayo estático CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 233 mg/l - 48 h

Toxicidad para las algas Ensayo estático CE50 - Desmodesmus subspicatus (Alga) - > 100 mg/l - 72 h

12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad aeróbico - Tiempo de exposición 28 d
Resultado: 7 % - No es biodegradable.
(Directrices de ensayo 301 C del OECD)

12.3 Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

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

12.6 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

Aldrich- 471828

Página 7 de 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

SECCIÓN 16. Otra información

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

H319 Provoca irritación ocular grave.

Otros datos

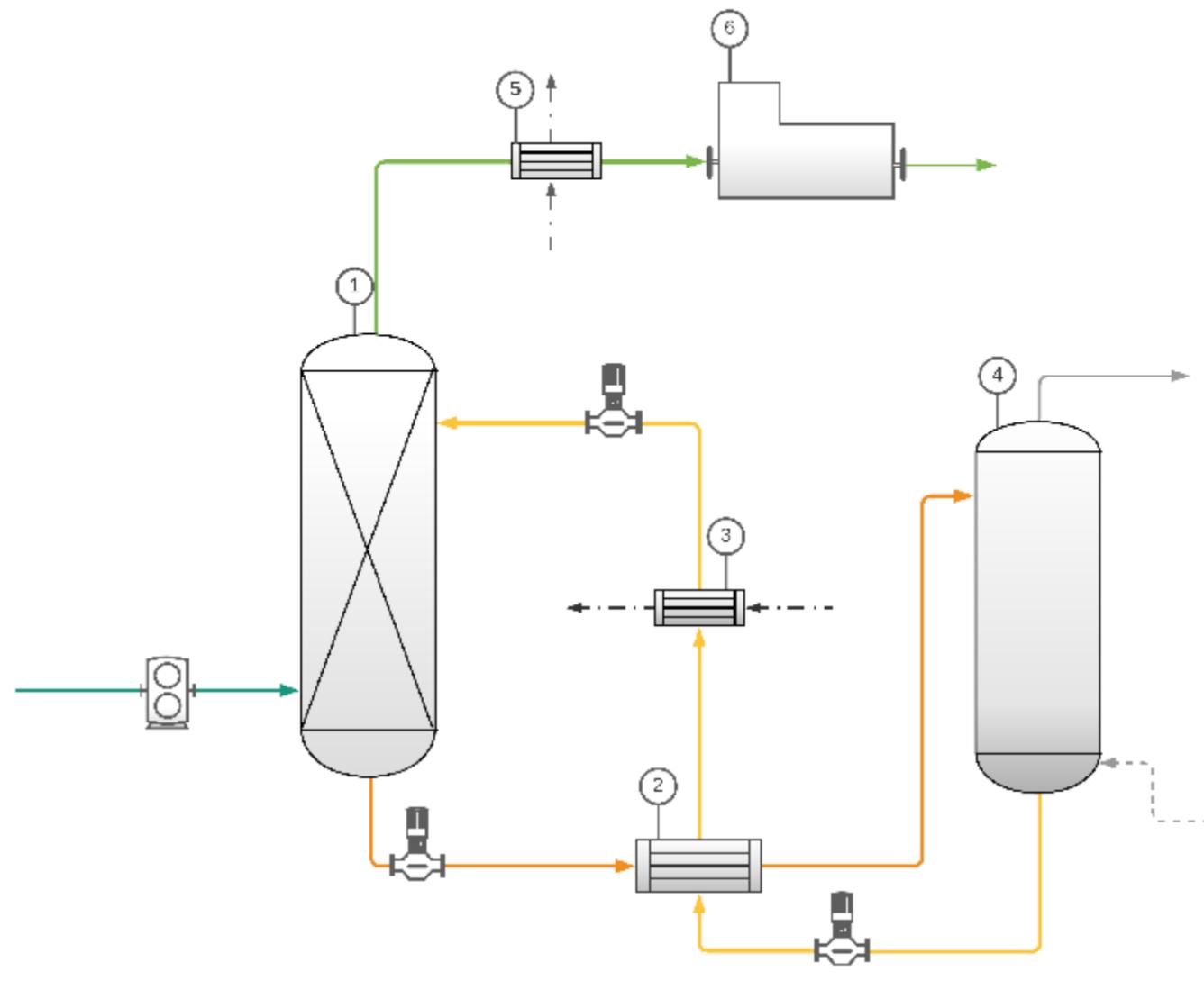
La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega. Copyright 2020 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con mlsbranding@sial.com

4. PLANOS

ÍNDICE

1. Diagrama de flujo.....	1
2. Plano P&ID.....	2
3. Torre absorción.....	3
4. Ubicación planta en la EDAR de Almazora.....	4

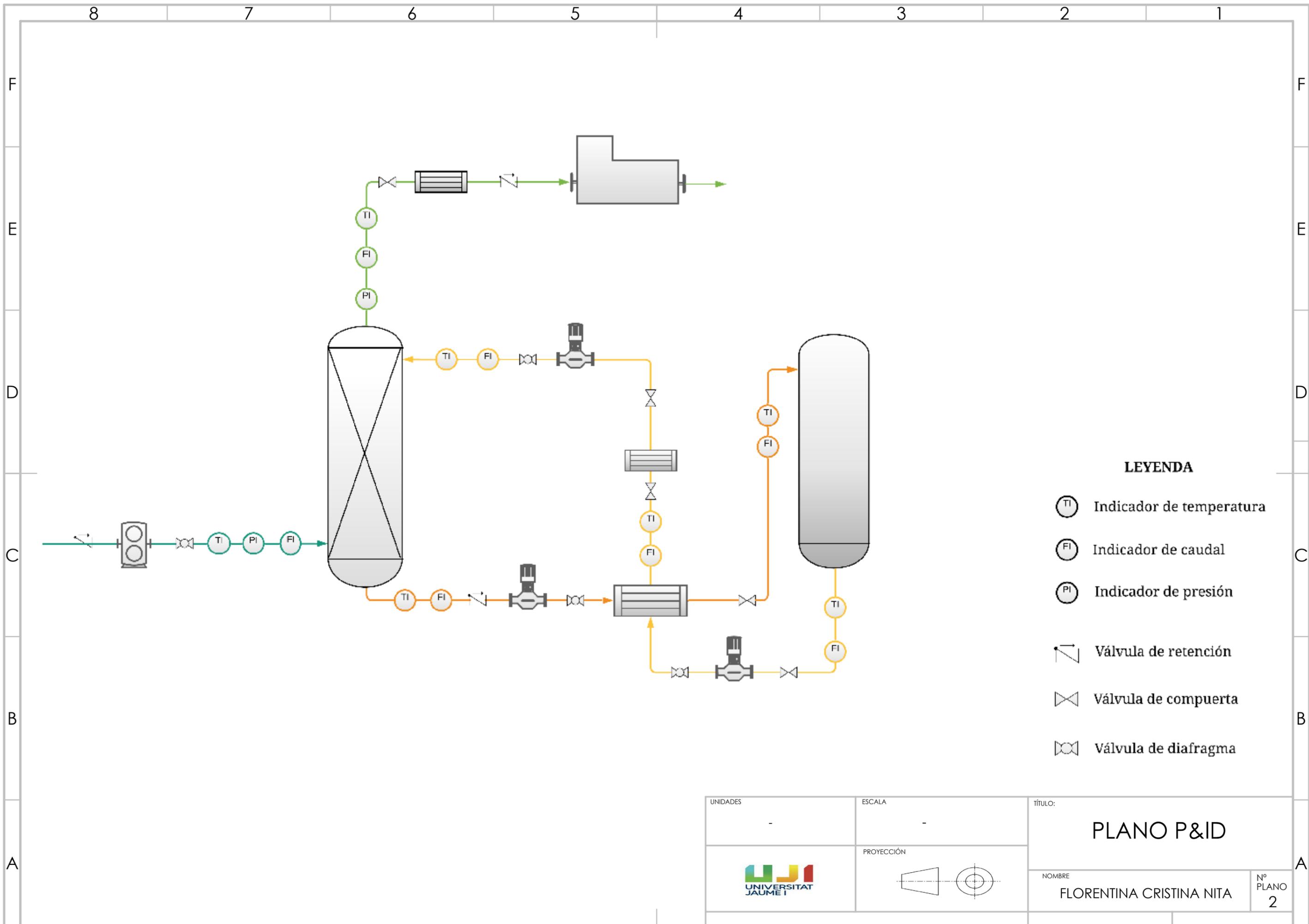


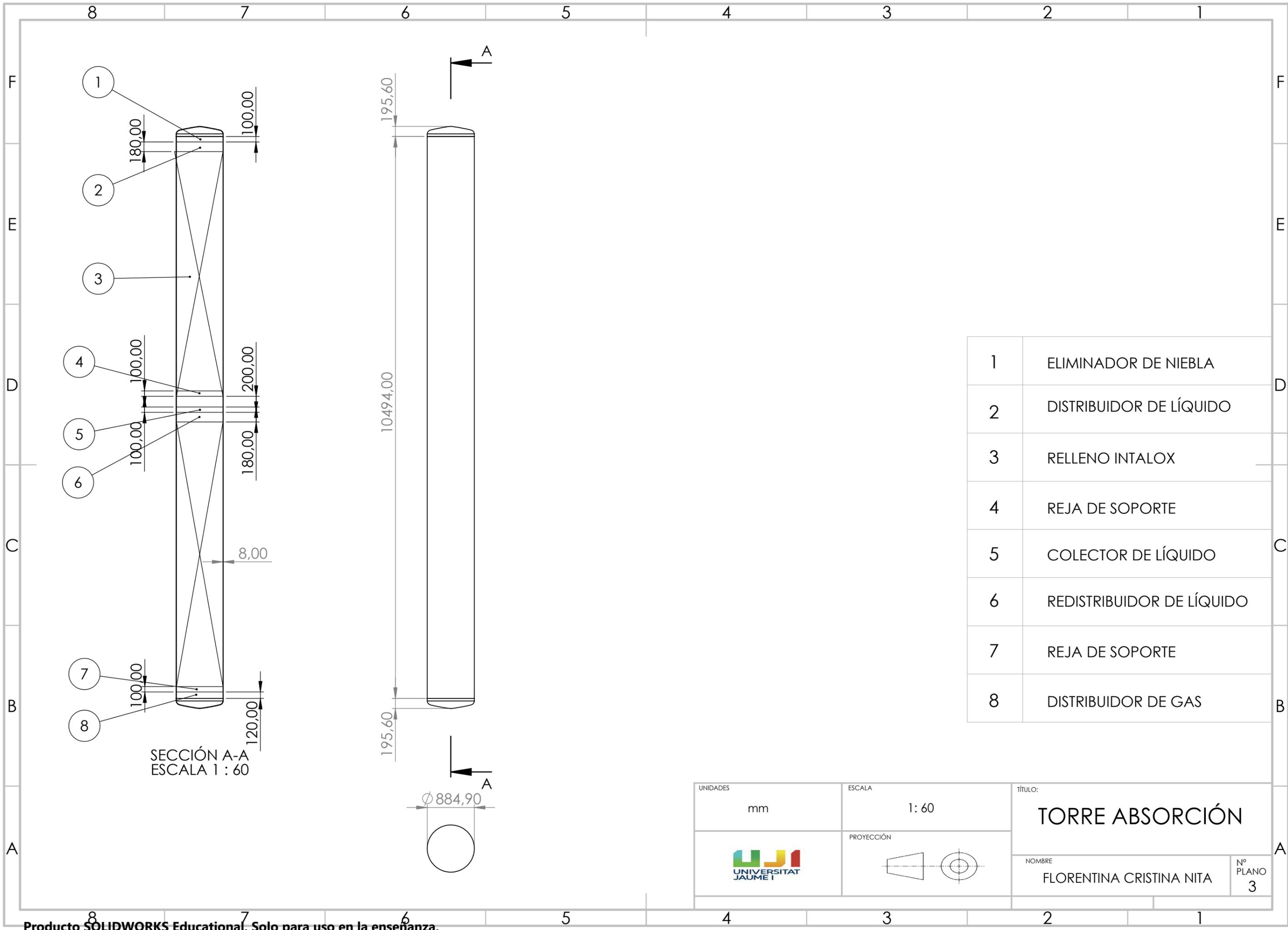
LEYENDA

- Corriente biogás
- Corriente amina rica
- Corriente amina pobre
- Corriente biometano
- Agua
- Vapor vivo
- Corriente CO2
- Bomba vertical
- Compresor rotativo

- ① Columna de relleno
- ② Intercambiador amina rica-amina pobre
- ③ Intercambiador complementario
- ④ Columna de platos
- ⑤ Enfriador biometano
- ⑥ Compresor multietapa

UNIDADES -	ESCALA -	TÍTULO: DIAGRAMA DE FLUJO	
		NOMBRE FLORENTINA CRISTINA NITA	Nº PLANO 1

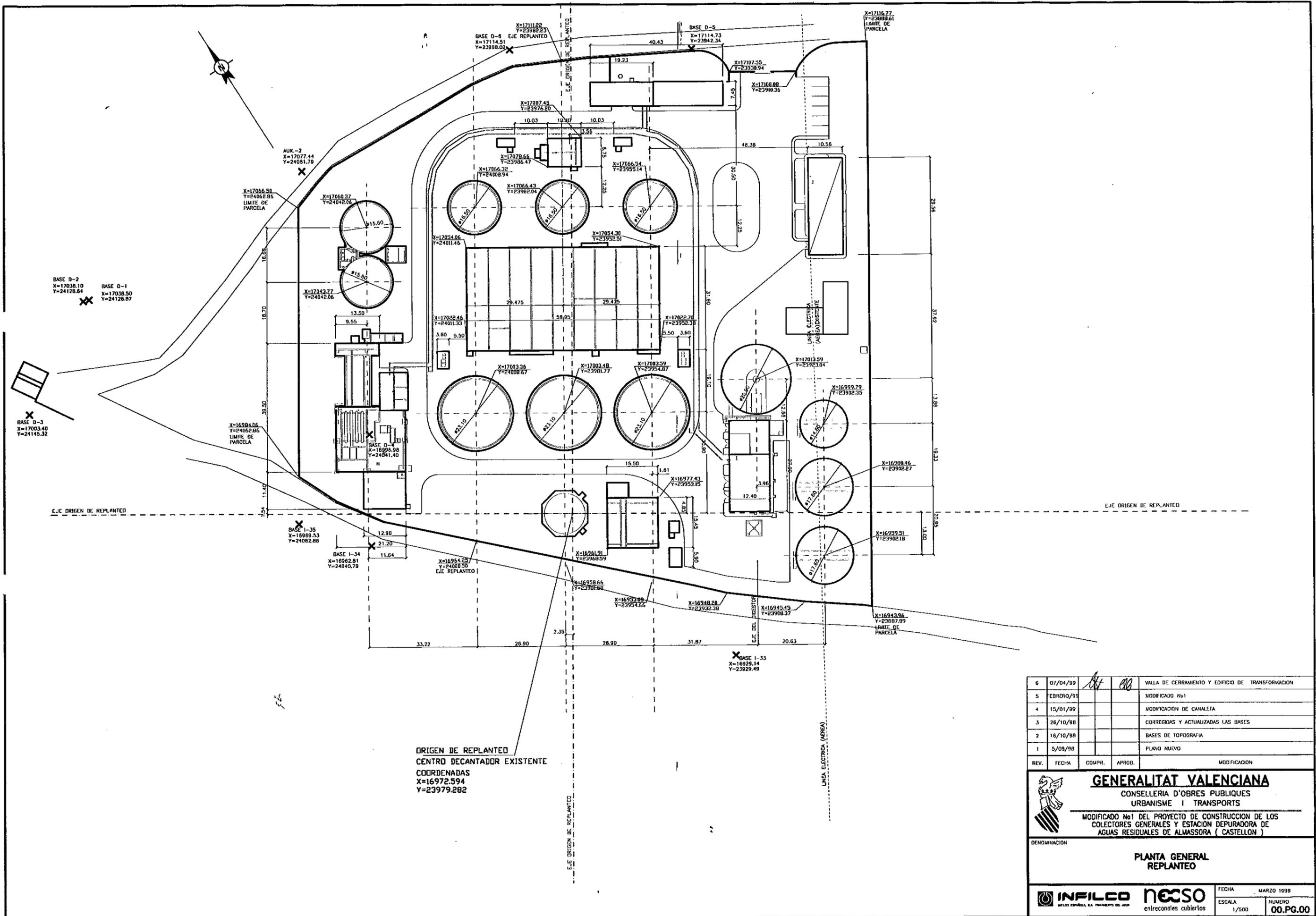




SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 60

1	ELIMINADOR DE NIEBLA
2	DISTRIBUIDOR DE LÍQUIDO
3	RELLENO INTALOX
4	REJA DE SOPORTE
5	COLECTOR DE LÍQUIDO
6	REDISTRIBUIDOR DE LÍQUIDO
7	REJA DE SOPORTE
8	DISTRIBUIDOR DE GAS

UNIDADES mm	ESCALA 1: 60	TÍTULO: TORRE ABSORCIÓN
	PROYECCIÓN 	NOMBRE FLORENTINA CRISTINA NITA
		Nº PLANO 3



REV.	FECHA	COMPR.	APROB.	MODIFICACION
6	07/04/99			VALLA DE CERRAMIENTO Y EDIFICIO DE TRANSFORMACION
5	FEBRERO/98			MODIFICADO Nº1
4	15/01/99			MODIFICACION DE CANALETA
3	26/10/98			CORREGIDAS Y ACTUALIZADAS LAS BASES
2	16/10/98			BASES DE TOPOGRAFIA
1	5/08/98			PLANO NUEVO

GENERALITAT VALENCIANA
 CONSELLERIA D'OBRES PUBLICUES
 URBANISME I TRANSPORTS

MODIFICADO Nº1 DEL PROYECTO DE CONSTRUCCION DE LOS
 COLECTORES GENERALES Y ESTACION DEPURADORA DE
 AGUAS RESIDUALES DE ALMASSORA (CASTELLON)

DENOMINACION
**PLANTA GENERAL
 REPLANTEO**

INFILCO <small>INFILCO ESPAÑA, S.A. TRATAMIENTO DE AGUAS</small>	NECSO <small>entreconjes cubiertas</small>
FECHA MARZO 1998	NUMERO 00.PG.00
ESCALA 1/500	40891P01 M.K.H

5. PLIEGO DE CONDICIONES

I. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS Y ECONÓMICAS	1
1. DISPOSICIONES GENERALES	1
1.1. DISPOSICIONES DE CARÁCTER GENERAL	1
1.1.1. Objeto del pliego de condiciones.....	1
1.1.2. Contrato de obra	1
1.1.3. Documentación del contrato de obra	1
1.1.4. Proyecto Arquitectónico	2
1.1.5. Reglamentación urbanística.....	2
1.1.6. Formalización del Contrato de Obra	3
1.1.7. Jurisdicción competente	3
1.1.8. Responsabilidad del contratista	3
1.1.9. Accidentes de trabajo.....	4
1.1.10. Daños y perjuicios a terceros.....	4
1.1.11. Anuncios y carteles.....	4
1.1.12. Copia de documentos	4
1.1.13. Suministro de materiales	5
1.1.14. Hallazgos	5
1.1.15. Causas de rescisión del contrato de obra	5
1.1.16. Omisiones: Buena fe.....	6
1.2. DISPOSICIONES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES.	6
1.2.1. Accesos y vallados	7
1.2.2. Replanteo	7
1.2.4. Orden de los trabajos	8
1.2.5. Facilidades para otros contratistas	8
1.2.6. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor	9
1.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto	9

1.2.8. Prorroga por causa de fuerza mayor	9
1.2.9. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra	10
1.2.10. Trabajos defectuosos	10
1.2.11. Vicios ocultos	10
1.2.12. Procedencia de materiales, aparatos y equipos.....	11
1.2.13. Presentación de muestras.....	11
1.2.14. Materiales, aparatos y equipos defectuosos.....	11
1.2.15. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos	12
1.2.16. Limpieza de las obras	12
1.2.17. Obras sin prescripciones explicitas	13
1.3.DISPOSICIONES DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEXAS	13
1.3.1. Consideraciones de carácter general.....	13
1.3.2. Recepción provisional	14
1.3.3. Documentación final de la obra.....	15
1.3.4. Medición definitiva y liquidación provisional de la obra.....	15
1.3.5. Plazo de garantía.....	15
1.3.6. Conservación de las obras recibidas provisionalmente	15
1.3.7. Recepción definitiva.....	15
1.3.8. Prórroga del plazo de garantía	16
1.3.9. Recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida	16
2. DISPOSICIONES FACULTATIVAS	17
2.1. DEFINICIÓN Y ATRIBUCIONES DE LOS AGENTES DE LA EDIFICACIÓN 17	
2.1.1. Promotor	17
2.1.2. Proyectista	17
2.1.3. El Contratista	18
2.1.4. El Director de Obra.....	18
2.1.5. El Director de la Ejecución de la Obra	18

2.1.6. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la instalación	19
2.1.7. Los suministradores de productos	19
2.2. LA DIRECCIÓN FACULTATIVA	19
2.3. VISITAS FACULTATIVAS	19
2.4. OBLIGACIONES DE LOS AGENTES INTERVENIENTES	20
2.4.2. El proyectista	21
2.4.3. El contratista	23
2.4.4. El Director de Obra.....	26
2.4.5. El Director de la Ejecución de la Obra	28
2.4.6. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la instalación	30
2.4.7. Los suministradores de productos	31
2.4.8. Los propietarios y los usuarios	31
2.5. DOCUMENTACIÓN FINAL DE OBRA.....	32
3. DISPOSICIONES ECONÓMICAS	32
3.1. DEFINICIÓN	32
3.2. CONTRATO DE OBRA	32
3.3. CRITERIO GENERAL	34
3.4. FIANZAS	34
3.4.1. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.....	34
3.4.2. Devolución de las fianzas	34
3.4.3. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales	34
3.5. DE LOS PRECIOS	35
3.5.1. Precio básico	35
3.5.2. Precio unitario	35
3.5.3. Presupuesto de Ejecución Material.....	37
3.5.4. Precios contradictorios	37
3.5.5. Reclamación de aumento de precios	38

3.5.6. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios.....	38
3.5.7. De la revisión de los precios contratados	38
3.5.8. Acopio de materiales	38
3.6. OBRAS POR ADMINISTRACIÓN	38
3.7. VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS.....	39
3.7.1. Forma y plazos de abono de las obras	39
3.7.2. Relaciones valoradas y certificaciones	40
3.7.3. Mejora de obras libremente ejecutadas	40
3.7.4. Abono de trabajos presupuestados con partida alzada	41
3.7.5. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.....	41
3.7.6. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.....	41
3.8. INDEMNIZACIONES MUTUAS	42
3.8.1. Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras.....	42
3.8.2. Demora de los pagos por parte del Promotor	42
3.9. VARIOS	42
3.9.1. Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra.....	42
3.9.2. Unidades de obra defectuosas.....	42
3.9.3. Seguro de las obras	43
3.9.4. Conservación de la obra	43
3.9.5. Uso por el Contratista de edificio o bienes del Promotor.....	43
3.10. RETENCIONES EN CONCEPTO DE GARANTÍA	43
3.11. PLAZOS DE EJECUCIÓN: PLANNING DE OBRA	44
3.12. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS	44
3.13. LIQUIDACIÓN FINAL DE LA OBRA	44
II. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES.....	46
1. OBJETO	46
2. DISPOSICIONES DE APLICACIÓN.	46

3. MATERIALES	46
3.1. MATERIALES EN GENERAL	46
3.2. TUBERÍAS	47
3.2.1. Análisis y ensayos.....	47
3.3. JUNTAS PARA TUBERIAS	49
3.4. MATERIALES NO ESPECIFICADOS.....	50
3.5. COLUMNA DE ABSORCIÓN.....	50
3.6. RESTO DE EQUIPOS	51
4. MAQUINARIA	51
5. EJECUCIÓN, CONTROL Y ABONO DE LAS OBRAS	52
5.1. CONDICIONES GENERALES	52
5.2. CARGA Y TRANSPORTE DE ESCOMBROS A VERTEDERO	53
5.2.1 Ejecución de las obras	53
5.2.2 Medición y abono	53
5.3 CARTELES DE OBRA.....	53
5.4 UNIDADES NO ESPECIFICADAS.....	53

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 absorción de CO₂ del biogás con metildietanolamina para la posterior venta del biogás enriquecido como combustible vehicular. 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, 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 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.

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

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, 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.
- 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 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 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.

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 subsidentes 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.

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 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.
- 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 recálculo 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 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 anejará 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.

- 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 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 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 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. 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. 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.
- 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

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.

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.

Las obras por administración se clasifican en dos modalidades:

- Obras por administración directa.
- Obras por administración delegada o indirecta.

Según la modalidad de contratación, en el contrato de obra se regulará:

- Su liquidación.
- El abono al Contratista de las cuentas de administración delegada.
- Las normas para la adquisición de los materiales y aparatos.
- Responsabilidades del Contratista en la contratación por administración en general y, en particular, la debida al bajo rendimiento de los obreros

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 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.

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.

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 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 absorción de CO₂ de un biogás para dar biometano para uso vehicular”, emplazado en la EDAR de Almazora.

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 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 150 unidades o piezas que deberán probarse. Por cada lote de 150 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 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.
- 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.

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.

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.

Se especifican algunas consideraciones para la construcción de la columna de absorción:

- Teniendo en cuenta que el fabricante nos proporciona el cuerpo cilíndrico ya soldado, se procede a la colocación de los accesorios en el interior de la columna. 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.
- Una vez preparadas las bases de apoyo de los accesorios, se suelda el fondo Koppler inferior, 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 Koppler superior.

3.6. 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, se deberá consultar con el fabricante, siendo el encargado de proporcionar las herramientas necesarias para la puesta en marcha del equipo en la instalación.

4. 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.

5. EJECUCIÓN, CONTROL Y ABONO DE LAS OBRAS

5.1. 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 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.

5.2. CARGA Y TRANSPORTE DE ESCOMBROS A VERTEDERO

5.2.1 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.

5.2.2 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.

5.3 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.

5.4 UNIDADES NO ESPECIFICADAS

Aquellas unidades de obra que no estuviesen incluidas o aquellos trabajos que no 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.

Diseño de un sistema de absorción de CO₂ del biogás para obtener biometano para uso vehicular

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

ÍNDICE

1. ESTADO DE MEDICIONES	1
1.1. PARTIDA 1: EQUIPO PRINCIPAL.....	2
1.2. PARTIDA 2: EQUIPOS AUXILIARES	3
1.3. PARTIDA 3: INSTRUMENTACIÓN.....	4
1.4. PARTIDA 4: CONDUCCIONES Y ACCESORIOS	5
1.5. PARTIDA 5: OBRA CIVIL E INSTALACIONES	6

1. ESTADO DE MEDICIONES

El Estado de Mediciones tiene por objetivo definir y determinar las unidades de cada partida o unidad de obra que constituyen la totalidad de la instalación, facilitando la obtención del presupuesto final del proyecto.

Hay un total de 5 partidas que se exponen a continuación:

- Equipo principal.
- Equipos auxiliares.
- Instrumentación.
- Conducciones y accesorios.
- Obra civil e instalaciones.

1.1. PARTIDA 1: EQUIPO PRINCIPAL

En la **tabla 1.1.1** se muestra el estado de mediciones de los elementos que componen equipo principal, la columna de relleno y sus accesorios.

Tabla 01.1.1. Partida 1

Elemento	Unidad	Cantidad
Cuerpo cilíndrico de acero A/SA 515 con recubrimiento de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio (GEA)	Ud.	1
Fondo toriesférico tipo Koppler (SLAWINSKI)	Ud.	2
Distribuidor M15KK (RVT Process Equipment)	Ud.	2
Alimentador M155H (RVT Process Equipment)	Ud.	1
Colector 611 (KOCH-GLITSCH)	Ud.	1
Distribuidor Shell Schoepentoeter (SULZER)	Ud.	1
Soporte 802 (KOCH-GLITSCH)	Ud.	2
Desnebulizador M960 (RVT Process Equipment)	Ud.	1
Relleno Intalox PP 38 mm (NXPACKING)	m ³	9,5
N-Metildietanolamina 99% (SIGMA-ALDRICH)	L	10.000

1.2. PARTIDA 2: EQUIPOS AUXILIARES

En la **tabla 1.2.1** se observa el estado de mediciones referente a los equipos auxiliares.

Tabla 1.2.1. Partida 2

Elemento	Unidad	Cantidad
Intercambiador de carcasa y haz de tubos CPS (FUNKE)	Ud.	2
Intercambiador de carcasa y haz de tubos I-TFM-I (SACOME)	Ud.	1
Columna regeneración de acero A/SA 515 (GEA)	Ud.	1
Bomba vertical RNL 40-200 (IDEAL)	Ud.	2
Bomba vertical RNL 40-160 (IDEAL)	Ud.	1
Compresor tornillo serie VMY (AERZEN IBERICA)	Ud.	1
Compresor pistón serie I (DRÄGER SAFETY HISPANIA)	Ud.	1

1.3. PARTIDA 3: INSTRUMENTACIÓN

En la **tabla 1.3.1** se muestra el estado de mediciones de la instrumentación del proyecto.

Tabla 1.3.1. Partida 3

Elemento	Unidad	Cantidad
Caudalímetro serie TS (Lutz Pumpen GmbH)	Ud.	5
Caudalímetro FLOWSIC600-XT (SICK)	Ud.	2
Manómetro RS PRO (RS Components)	Ud.	2
Indicador de temperatura TIF 50 (WIKA)	Ud.	7

1.4. PARTIDA 4: CONDUCCIONES Y ACCESORIOS

En la **tabla 1.4.1** se observa el estado de mediciones de las conducciones y los accesorios.

Tabla 1.4.1. Partida 4

Elemento	Unidad	Cantidad
Tubería Acero Inox. AISI 316, DN203,2mm (8")	m	3
Tubería Acero Inox. AISI 316, DN101,6 (4")	m	27,52
Tubería Acero Inox. AISI 316, DN152,4 (6")	m	18
Codo 90° STD AISI 316, DN101,6 (4")	Ud.	10
Codo 90° STD AISI 316, DN 152,4 (6")	Ud.	2
Válvula compuerta AISI 316, DN152,4 (6")	Ud.	2
Válvula diafragma AISI 304, DN152,4 (6")	Ud.	1
Válvula retención AISI 304, DN203,2 (8")	Ud.	1
Válvula diafragma AISI 304, DN203,2 (8")	Ud.	1
Válvula compuerta AISI 316, DN101,6 (4")	Ud.	3
Válvula retención AISI 304, DN101,6 (4")	Ud.	1
Válvula diafragma AISI 316, DN101,6 (4")	Ud.	3

1.5. PARTIDA 5: OBRA CIVIL E INSTALACIONES

En la **tabla 1.5.1** se resume el estado de mediciones de la obra civil y las instalaciones pertinentes.

Tabla 1.5.1 Partida 5

Elemento	Unidad	Cantidad
Adecuación del terreno	m ²	80
Instalación eléctrica	m ²	40
Instalación fontanería	m ²	40
Instalación equipos	m ²	50
Instalación contra incendios	m ²	50
Alumbrado	m ²	40
Saneamiento	m ²	40

1.6. PARTIDA 6: ESTUDIO SEGURIDAD Y SALUD

En la **tabla 1.6.1** se resume el estado de mediciones de los elementos del estudio de Seguridad y Salud. El apartado de medidas preventivas hace referencia a a medidas fijas para minimizar el riesgo de sufrir un accidente, como son las barandillas, los protectores térmicos, etc.

Tabla 1.6.1 Partida 6

Elemento	Unidad	Cantidad
Casco de seguridad	Ud.	35
Gafas de seguridad	Ud.	40
Calzado de seguridad	Ud.	10
Ropa antiestática e ignífuga	Ud.	10
Guantes de lona y piel	Ud.	50
Protectores auditivos	Ud.	60
Arnés de seguridad	Ud.	10
Medidas preventivas	-	1

7. PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL	1
1.1. Partida 1: Equipo principal	1
1.2. Partida 2: Equipos Auxiliares	2
1.3. Partida 3: Instrumentación	2
1.4. Partida 4: Conducciones y accesorios.....	3
1.5. Partida 5: Obra civil e instalaciones	4
1.6. Partida 6: mano de obra	4
1.7. Partida 7: Estudio de Seguridad y Salud.....	5
1.8. PEM	6
2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	7

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL

El Presupuesto de Ejecución de Material (PEM) constituye el presupuesto final del proyecto. Se desglosa en las siguientes partidas:

- Equipo principal
- Equipos auxiliares
- Instrumentación
- Conducciones y accesorios
- Obra civil e instalaciones
- Mano de obra
- Estudio de Seguridad y Salud

1.1. Partida 1: Equipo principal

La primera partida hace referencia al equipo principal, es decir, la columna de relleno y sus accesorios. El desglose del presupuesto se encuentra en la **tabla 1.1.1**.

Tabla 1.1.1. Presupuesto partida 1: equipo principal

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Cuerpo cilíndrico de acero A/SA 515 con recubrimiento de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio (GEA)	Ud.	1	240.000,00	240.000,00
Fondo toriesférico tipo Koppler (SLAWINSKI)	Ud.	2	29.600,00	59.200,00
Distribuidor M15KK (RVT Process Equipment)	Ud.	2	20.500,00	41.000,00
Alimentador M155H (RVT Process Equipment)	Ud.	1	17.750,00	17.750,00
Colector 611 (KOCH-GLITSCH)	Ud.	1	14.500,00	14.500,00
Distribuidor Shell Schoepentoeter (SULZER)	Ud.	1	19.350,00	19.350,00
Soporte 802 (KOCH-GLITSCH)	Ud.	2	12.500,00	25.000,00
Desnebulizador M960 (RVT Process Equipment)	Ud.	1	16.800,00	16.800,00
Relleno Intalox PP 38 mm (NXPacking)	m ³	9,5	5.500,00	52.250,00
TOTAL				485.850,00

1.2. Partida 2: Equipos Auxiliares

La segunda partida hace referencia a los equipos auxiliares que componen la instalación. El desglose del presupuesto se encuentra en la **tabla 1.2.1**.

Tabla 1.2.1. Presupuesto partida 2: equipos auxiliares

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Intercambiador de carcasa y haz de tubos CPS (FUNKE)	Ud.	1	82.000,00	82.000,00
Intercambiador de carcasa y haz de tubos CPS (FUNKE)	Ud.	1	51.800,00	51.800,00
Intercambiador de carcasa y haz de tubos I-TFM-I (SACOME)	Ud.	1	65.000,00	65.000,00
Columna regeneración de acero A/SA 515 (GEA)	Ud.	1	550.000,00	550.000,00
Bomba vertical RNL 40-200 (IDEAL)	Ud.	1	19.650,00	19.650,00
Bomba vertical RNL 40-200 (IDEAL)	Ud.	1	17.850,00	17.850,00
Bomba vertical RNL 40-160 (IDEAL)	Ud.	1	21.250,90	21.250,90
Compresor tornillo serie VMY (AERZEN IBERICA)	Ud.	1	37.250,00	37.250,00
Compresor pistón serie I (DRÄGER SAFETY HISPANIA)	Ud.	1	49.590,50	49.590,50
TOTAL				894.391,40

1.3. Partida 3: Instrumentación

La tercera partida se compone de la instrumentación de medida empleada en la instalación. El desglose del presupuesto se encuentra en la **tabla 1.3.1**.

Tabla 1.3.1. Presupuesto partida 3: instrumentación

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Caudalímetro serie TS (Lutz Pumpen GmbH)	Ud.	5	678,90	3.394,50
Caudalímetro FLOWSIC600-XT (SICK)	Ud.	2	855,95	1.711,90
Manómetro RS PRO (RS Components)	Ud.	2	432,20	864,40
Indicador de temperatura TIF 50 (WIKA)	Ud.	7	650,98	4.556,86
TOTAL				10.527,66

1.4. Partida 4: Conducciones y accesorios

La cuarta partida hace referencia a las conducciones y accesorios de la instalación. El desglose del presupuesto se encuentra en la **tabla 1.4.1**.

Tabla 1.4.1. Presupuesto partida 4: conducciones y accesorios

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Tubería Acero Inox. AISI 316, DN203,2mm (8")	m	3	149,9	449,70
Tubería Acero Inox. AISI 316, DN101,6 (4")	m	27,52	106,95	2.943,26
Tubería Acero Inox. AISI 316, DN152,4 (6")	m	18	125,90	2.266,20
Codo 90º STD AISI 316, DN101,6 (4")	Ud.	10	89,95	899,50
Codo 90º STD AISI 316, DN 152,4 (6")	Ud.	2	98,75	197,50
Válvula compuerta AISI 316, DN152,4 (6")	Ud.	2	627,98	1.255,96
Válvula diafragma AISI 304, DN152,4 (6")	Ud.	1	578,1	578,10
Válvula retención AISI 304, DN203,2 (8")	Ud.	1	873,25	873,25
Válvula diafragma AISI 304, DN203,2 (8")	Ud.	1	726,55	726,55
Válvula compuerta AISI 316, DN101,6 (4")	Ud.	3	373,2	1.119,60
Válvula retención AISI 304, DN101,6 (4")	Ud.	1	325,3	325,30
Válvula diafragma AISI 316, DN101,6 (4")	Ud.	3	365,89	1.097,67
TOTAL				12.732,59

1.5. Partida 5: Obra civil e instalaciones

La quinta partida se compone de las obras e instalaciones necesarias para poner en marcha la unidad, considerando el precio por metro cuadrado como una aproximación establecida en la base de datos del programa Arquímedes y en los ratios económicos establecidos por el Colegio de Ingenieros Industriales de la Comunidad Valenciana.

Teniendo en cuenta que la planta se ubica en una EDAR existente, algunas de las instalaciones como laboratorios, oficinas, línea de alcantarillado, etc. no son necesarias.

El desglose del presupuesto se encuentra en la **tabla 1.5.1**

Tabla 1.5.1. Presupuesto partida 5: obra civil e instalaciones

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Instalación eléctrica	m ²	40	30,00	1.200,00
Instalación fontanería	m ²	40	35,00	1.400,00
Instalación equipos	m ²	50	60,00	3.000,00
Instalación contra incendios	m ²	50	25,00	1.250,00
Alumbrado	m ²	40	20,00	800,00
Saneamiento	m ²	40	20,00	800,00
TOTAL				8.450,00

1.6. Partida 6: mano de obra

En la partida 6 figura el coste de la mano de obra de la instalación, considerándose un 15% del coste total de los equipos. El resultado se muestra en la **tabla 1.6.1**.

Tabla 1.6.1. Presupuesto partida 6: mano de obra

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio total (€)
Mano de obra	%	15	207.036,21

1.7. Partida 7: Estudio de Seguridad y Salud

La partida 7 que aparece en la **tabla 1.7.1** constituye a los elementos de seguridad necesarios del Estudio de Seguridad y Salud realizado en el anexo 5. El apartado de medidas preventivas hace referencia a medidas fijas para minimizar el riesgo de sufrir un accidente, como son las barandillas, los protectores térmicos, etc.

Tabla 1.7.1. Presupuesto partida 7: elementos de seguridad

Elemento	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Casco de seguridad	35	14,95	523,25
Gafas de seguridad	40	7,50	300,00
Calzado de seguridad	10	69,75	697,50
Ropa antiestática e ignífuga	10	79,99	799,90
Guantes de lona y piel	50	4,45	222,50
Protectores auditivos	60	39,75	2.385,00
Arnés de seguridad	10	95,99	959,90
Medidas preventivas	1	3.500,00	3.500,00
TOTAL			9.388,05

1.8. PEM

El sumatorio de todas las partidas descritas constituyen el Presupuesto de Ejecución de Material, detallado en la **tabla 1.8.1**.

Tabla 1.8.1. PEM

Partida	Precio total (€)
Equipo principal	485.850,00
Equipos auxiliares	894.391,40
Instrumentación	10.527,66
Conducciones y accesorios	12.732,59
Obra civil e instalaciones	8.450,00
Mano de obra	207.036,21
Estudio Seguridad y Salud	9.388,05
PEM	1.628.375,91

2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

El Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se obtiene considerando un incremento de los gastos generales y el beneficio industrial del PEM.

Los porcentajes se fijan en base a la contratación de obras oficiales, habitualmente un 13% para Gastos Generales (GG) y un 6% para el Beneficio Industrial (BI). El resultado se muestra en la **tabla 2.1.**

Tabla 2.1. PEC

	Precio total (€)
PEM	1.628.375,91
Gastos Generales	211.688,87
Beneficio Industrial	97.702,55
PEC	1.937.767,34

3. PRESUPUESTO TOTAL

Finalmente, se obtiene el presupuesto final del proyecto aplicando el 21% de IVA al PEC. El resultado se muestra en la **tabla 3.1.**

Tabla 3.1. Presupuesto total

PRESUPUESTO TOTAL	Precio total (€)
PEC	1.937.767,34
IVA 21%	406.931,14
TOTAL	2.344.698,48

El presupuesto total del proyecto “Diseño de un sistema de absorción de CO₂ de un biogás para dar biometano para uso vehicular” asciende a **DOS MILLONES TRES CIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL SEIS CIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS CON CUARENTA Y OCHO CÉNTIMOS.**