



Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències

Experimentals

Grau en Enginyeria Química

***Diseño del proceso de oxidación de
amoníaco líquido para la producción de
caprolactama***

Trabajo Fin de Grado

Autor/a

Sara Estupiñá Ariño

Tutor/a

Antonio Barba Juan

Castellón, Noviembre de 2015

0. Resumen

El presente proyecto muestra el diseño de una instalación para la producción de gases nitrosos, NO/NO₂. Este diseño junto con otros muchos procesos que no son objeto del presente proyecto contribuye a la producción de la caprolactama, un monómero que es la materia prima para la fabricación del Nylon.

El motivo de la realización del trabajo es debido a la estancia en prácticas realizada en la empresa Ube Chemical Europe, ubicada en el Grao de Castellón. Durante esos días se tuvo conocimiento del funcionamiento de una instalación de este tipo y se pudieron obtener algunos conocimientos sobre el proceso.

El proceso se basa en dos corrientes, una de amoníaco y otra de aire atmosférico que son mezcladas y enviadas a un reactor de lecho fijo catalítico donde tiene lugar la reacción de oxidación sobre mallas catalíticas de Platino/Rodio. Estas dos corrientes de entrada se tienen que tratar previamente, es decir, el amoníaco líquido que proviene de un tanque de almacenamiento se debe evaporar y el aire proveniente de la atmósfera debe ser filtrado antes del mezclado.

Por tanto tal y como se ha comentado, para el diseño de dicha instalación se requieren diversos procesos relacionados con la elección de los equipos:

- Almacenamiento del amoníaco mediante un tanque.
- Evaporación del amoníaco mediante un rehervidor tipo caldera.
- Filtrado del aire atmosférico mediante un filtro de cartuchos.
- Mezclado de las dos corrientes mediante un mezclador de gases apropiado.
- Obtención de los gases nitrosos a partir de un reactor catalítico de lecho fijo.

Además se requiere de un sistema de bombeo así como del diseño de las conducciones para el transporte de los fluidos teniendo en cuenta los accesorios necesarios.

También se llevará a cabo un análisis de costes de la instalación en el que se mostrará tanto la inversión inicial como los costes directos e indirectos.

1. Índice General

0. Resumen
1. Índice General
2. Memoria
3. Anexos
4. Planos
5. Pliego de Condiciones
6. Estado de Mediciones
7. Presupuesto
8. Estudios con entidad propia

2. Memoria

Índice

1. OBJETO	3
2. ALCANCE	4
3. ANTECEDENTES	5
4. NORMAS Y REFERENCIAS	8
4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	8
4.2 Bibliografía	8
4.3 Programas informáticos empleados.....	9
4.4 Otras referencias.....	9
5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	10
6. REQUISITOS DE DISEÑO	12
7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES	13
7.1 Almacenamiento de amoníaco	13
7.2 Filtrado del aire	14
7.3 Mezclador.....	16
7.4 Descripción general de un rehervidor.....	16
7.4.1 Descripción general de las partes de un rehervidor	16
7.4.2 Diseño del rehervidor	20
7.4.3 Tipos de rehervidor	21
7.4.4 Elección del tipo de Rehervidor.....	26
7.5 Descripción del reactor	27
7.5.1 Catálisis homogénea y catálisis heterogénea	27
7.5.2 Tipos de reactores catalíticos.....	29
7.6 Equipos para la impulsión de fluidos.....	32
7.7 Conducciones: tuberías y accesorios	37
7.7.1 Accesorios	37
7.7.2 Válvulas	39
8. RESULTADOS FINALES	42
8.1 Filtrado e impulsión del aire	43
8.2 Almacenamiento de amoníaco	46
8.3 Rehervidor tipo caldera.....	47
8.4 Caldera	51

8.5 Mezclador.....	51
8.6 Reactor catalítico de lecho fijo.....	52
8.6.1 Tratamiento de las mallas catalíticas.....	57
8.7 Conducciones y accesorios	57
8.7.1 Tramo 1	57
8.7.2 Tramo 2	59
8.7.3 Tramo 3	60
8.7.4 Tramo 4	60
9. ESTUDIO ECONÓMICO	66
9.1 Inversión inicial.....	66
9.2 Gastos directos	71
9.2.1 Costes de materia prima	71
9.2.2 Costes de electricidad.....	72
9.2.3 Costes de agua.....	72
9.2.4 Costes de combustible	73
9.2.5 Costes de regenerar y reponer las mallas de platino/rodio	73
9.3 Gastos indirectos	74
9.3.1 Costes de personal y limpieza.....	74
9.3.2 Costes de alumbrado	76
10. PLANIFICACIÓN	77
11. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS	79

1. OBJETO

El objetivo de este proyecto es diseñar un reactor de lecho fijo catalítico donde se producirá la oxidación del amoníaco para la obtención de gases nitrosos NO/NO₂.

Para ello se parte de amoníaco en fase líquida el cual es evaporado y mezclado con aire atmosférico para entrar en el reactor y producir la cantidad de gases deseados, los cuales se utilizan en la producción de caprolactama, un monómero para la obtención del Nylon.

Los gases obtenidos en el reactor se enfrían y absorben con una solución de sulfito amónico para formar una solución que contiene disulfonato amónico y nitrito amónico, utilizada posteriormente como reactivo para la producción de sulfato de hidroxilamina que, a su vez, se alimentará a las unidades de síntesis de la caprolactama.

2. ALCANCE

Tal y como se ha comentado anteriormente, el proyecto consiste en el diseño de una parte del proceso de la producción de caprolactama.

Para obtener la mezcla de gases NO/NO₂ se requiere una instalación que funcione de la siguiente forma:

1. En primer lugar se toma aire de la atmósfera que pasará a través de un filtro para eliminar impurezas.
2. Por otra parte el amoníaco líquido que se encuentra almacenado en tanques esféricos entra en un rehervidor y mediante un cambio de fase se convierte en amoníaco gas.
3. Las dos corrientes necesarias para el proceso (NH₃ y aire), se mezclan y se introducen posteriormente en un reactor donde tendrá lugar la combustión del amoníaco para obtener los gases deseados (NO/NO₂).

Por tanto, este proyecto se centrará en:

- Diseño y dimensionado de los equipos más relevantes que componen la instalación.
- Estudio económico de los costes de construcción tanto en obra civil como en equipamiento.
- Dimensionamiento de la zona de reacción de la planta con sus planos correspondientes.

3. ANTECEDENTES

La idea de este proyecto surge de la estancia en prácticas en UBE Chemical Europe, empresa ubicada en el polígono El Serrallo en el Grao de Castellón.

El grupo japonés Ube industries se dedica a la fabricación de una gran variedad de productos para los siguientes sectores:

- Productos Químicos y Plásticos
- Productos y Materias químicas especiales
- Productos Farmacéuticos.
- Cemento y materiales de construcción
- Maquinaria y productos Metálicos
- Energía y Medio ambiente.

UBE trasladó en 1999 la sede filial química en Europa de Düsseldorf (Alemania) a Castellón, donde en 1994 había comprado a BP la empresa de Productos Químicos del Mediterráneo (Proquimed). Es su única fábrica en Europa, ahora denominada Ube Chemical Europe. La estructura del grupo se completa con una filial de plásticos, también ubicada en Castellón, y dos oficinas comerciales en Madrid y Düsseldorf.

UBE Chemical Europe se dedica a la producción de la caprolactama como producto de venta de la empresa y como monómero para la producción de Nylon. También cuenta con otras líneas de producto como fertilizantes granulados de amplio uso y productos de química fina como 1,6-Hexandiol, 1,5-Pentanodiol.

Por último UBE Engineering Plastics S.A se encarga específicamente de la fabricación de Poliamida 6,12 y copoliamidas, utilizadas posteriormente para la producción de film para envases de alimentación, componentes de automoción y productos de ingeniería para el consumo.

UBE acaba de poner en marcha en 2015 la ampliación de su planta de nylon del polígono del Serrallo, con lo que este año ya podrá producir 10000 toneladas más de este tipo de plástico. Con ello la compañía aumenta la rentabilidad de la planta, ya que para la fabricación del Nylon utiliza su propia caprolactama como materia prima, que actualmente tiene complicado alcanzar buenas cotizaciones en el mercado.

Todas las aplicaciones de la caprolactama están relacionadas con el proceso de producción del Nylon 6. El 99 % de la caprolactama se utiliza como monómero del nylon y el resto se utiliza en otros aspectos relacionados, como la investigación y el desarrollo.

Alrededor del 54% del consumo mundial de caprolactama está destinado para las fibras de nylon 6 y un 43% es de resinas y películas de nylon.

Los nylons también son poliamidas, debido a los característicos grupos amida en la cadena principal. Las proteínas, tales como la seda a la cual el nylon reemplazó, también son poliamidas. Estos grupos amida son muy polares y pueden unirse entre sí mediante enlaces por puente de hidrógeno. Debido a esto y a que la cadena de nylon es tan regular y simétrica, los nylons son a menudo cristalinos, y forman excelentes fibras.

El verdadero éxito del nylon vino primeramente con su empleo para la confección de medias femeninas, alrededor de 1940. Fueron un gran éxito, pero pronto se hicieron muy difíciles de conseguir, porque al año siguiente los Estados Unidos entraron en la Segunda Guerra Mundial y el nylon fue necesario para hacer material de guerra, como cuerdas y paracaídas. Pero antes de las medias o de los paracaídas, el primer producto de nylon fue el cepillo de dientes con cerdas de nylon.

Los nylons han encontrado campos de aplicación como materiales plásticos en aquellos sectores o usos particulares donde se requiere más de una de las propiedades siguientes: alta tenacidad, rigidez, buena resistencia a la abrasión, buena resistencia al calor.

Debido a su elevado coste no han alcanzado la aplicabilidad de materiales tales como polietileno o poliestireno, los cuales tienen un precio tres veces más bajo que el del nylon.

Las aplicaciones más importantes de los homopolímeros se encuentran en el campo de la ingeniería mecánica. Aplicaciones bien establecidas son las siguientes: asientos de válvulas, engranajes en general, excéntricas, cojinetes, rodamientos, etc. Además de las propiedades ventajosas señaladas en líneas anteriores, las piezas de nylon pueden funcionar frecuentemente sin lubricación, son silenciosas, pudiendo en muchos casos moldearse en una sola pieza evitándose el ensamblado de las diferentes piezas metálicas o el uso de máquinas caras con la consiguiente pérdida de material.

4. NORMAS Y REFERENCIAS

4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

Durante la realización del presente proyecto se han tenido presentes las siguientes normas:

- REAL DECRETO 1627/1997, del 14 de Abril por lo que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud laboral en los lugares de trabajo.
- Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Normas TEMA (Exchanger Manufacturers Association) para el diseño del rehervidor.

4.2 Bibliografía

A continuación se presentan los recursos bibliográficos utilizados para la obtención de información.

- Sinnott ,R.K. *Chemical Engineering Design*.4^a ed.Amsterdam:Elsevier,1999.
- Scott Fogler,H.*Elementos de la Ingeniería de las reacciones Químicas*.3^a ed.México:Pearson Educación,2001.
- Perry,RobertH.*Perry, Manual del Ingeniero Químico*.6^aed.México:McGraw-Hill,1942.
- Webb,Ralph L. *Principles of Enhanced Heat Transfer* .New York:John Wiley& Sons,1994.
- Cheremisinoff, Nicholas P.;Cheremisinoff ,Paul N. *Heat Transfer Equipment*. New Jersey: Prentice Hall, 1993.
- Minton,Paul E.*Handbook of Evaporation Technology*.New Jersey: Noyes Publications,1986.

- Apuntes de la asignatura EQ1031 Proyectos de Ingeniería, Universidad Jaume I.
- Apuntes de la asignatura EQ1030 Reactores Químicos y Bioquímicos, Universidad Jaume I.
- Apuntes de la asignatura EQ1027 Tecnología del Medio Ambiente, Universidad Jaume I.
- Apuntes de la asignatura EQ1020 Operaciones Básicas de Transmisión de Calor, Universidad Jaume I.
- Apuntes de la asignatura EQ1019 Mecánica de Fluidos, Universidad Jaume I.
- Apuntes de la asignatura EQ1037 Seguridad e Higiene Industrial, Universidad Jaume I.

4.3 Programas informáticos empleados

En lo referente a los programas y herramientas empleados para la realización de dicho proyecto se pueden destacar:

- Microsoft Word 2010.
- Microsoft Excel 2010.
- Autocad 2012.
- Microsoft Project 2010.

4.4 Otras referencias

- Norma de dibujo UNE-EN ISO: 2000.
- Norma de dibujo UNE-EN ISO: 2002.
- Norma UNE 157001 de criterios generales para la elaboración de proyectos.

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Purgar: limpiar o purificar una cosa, eliminar lo que se considera malo o perjudicial.

Reboiler tipo Kettle : rehervidor tipo caldera.

IC : Intercambiador de Calor.

Pt: platino.

Rh : rodio.

NH₃: amoníaco.

NO₂: dióxido de nitrógeno.

O₂: oxígeno.

NO: monóxido de nitrógeno.

H₂O: Agua.

ΔH : Variación de entalpía.

m: flujo másico (kg/s).

T: temperatura (°C).

Cp: calor específico (J/kg·K).

D: diámetro (m).

P: presión (atm).

X: grado de conversión.

F: flujo molar (kmol/s).

Q: caudal volumétrico (m³/s).

S: sección (m²).

G: gasto másico (kg/s·m²).

μ : viscosidad dinámica(Poises).

V: volumen (m^3).

v : velocidad(m/s).

h : altura(m).

L: longitud (m).

η : rendimiento.

T_{sat} : temperatura de saturación ($^{\circ}C$).

L_v : calor latente de vaporización (kJ/kg).

q: calor (J/s).

A: área (m^2).

U: coeficiente global de transmisión de calor ($kJ/m^2 \cdot s$).

e : espesor(m).

K: conductividad térmica ($J/ (m \cdot s \cdot K)$).

p: distancia entre centros de los tubos del intercambiador (m).

N_t : número de tubos.

N_p : número de pasos.

mm.c.a: milímetros de columna de agua.

rpm : revoluciones por minuto

dB : decibelio , unidad de nivel sonoro.

T_m : toneladas métricas.

6. REQUISITOS DE DISEÑO

Tal y como se ha comentado anteriormente en el apartado de *Antecedentes* la idea del presente proyecto surge a raíz de la estancia en prácticas en UBE Chemical Europe. Durante ese periodo de tiempo se han adquirido unos conocimientos básicos sobre el funcionamiento de una instalación similar a la de dicho proyecto.

Así pues, para la ejecución de este proyecto, algunas de las bases y especificaciones iniciales han sido proporcionadas por UBE.

En la *tabla 6.1* se muestran los caudales de alimento y de producto en el reactor.

Tabla 6.1 Caudales de partida para el diseño de la instalación

Caudales de Entrada al reactor	Caudales de Salida del reactor
$m_{\text{NH}_3} = 1000\text{kg/h}$	$m_{\text{NO/NO}_2} = 30916\text{kg/h}$
$m_{\text{Aire}} = 12000\text{kg/h}$	

En la *tabla 6.2* se recogen algunas de las características de partida del reactor y de la reacción que se deben conocer y/o fijar para realizar el diseño.

Tabla 6.2 Características de partida del reactor

Características del reactor	
Tipo	Reactor catalítico de lecho fijo
Reacción	$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$
Termodinámica	Exotérmica $\Delta H = -226\text{kJ/mol}$
Grado de conversión, X	0.9973
Diámetro del reactor, D (m)	2

7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En este apartado se definirán las posibilidades de los equipos y procesos necesarios para cumplir con los objetivos fijados anteriormente en el apartado 6.

Tal y como se ha comentado en el apartado 2 se necesitan dos corrientes, una de amoníaco líquido proveniente de un tanque de almacenamiento que posteriormente será enviado a un rehervidor para cambiar de fase a estado gaseoso y otra corriente de aire atmosférico que será filtrado para eliminar impurezas. Estas dos corrientes serán conducidas a un mezclador y finalmente serán enviadas al reactor químico.

7.1 Almacenamiento de amoníaco

El amoníaco se puede almacenar en cavidades de varios tipos:

- Almacenamientos refrigerados a presión atmosférica y aproximadamente -33°C con capacidades de 10000 Tm a 30000 Tm .
- Esferas o tanques a presión y temperatura ambiente y su presión de vapor con capacidades de hasta 1300 Tm .
- Esferas refrigeradas a presiones intermedias (4 atm) y 0°C y capacidades intermedias entre los dos sistemas anteriores.

En las *figuras 7.1* y *7.2* se muestran respectivamente un tanque de almacenamiento y una esfera de almacenamiento.

Figura 7.1 Tanque de almacenamiento



Figura 7.2 Esfera de almacenamiento



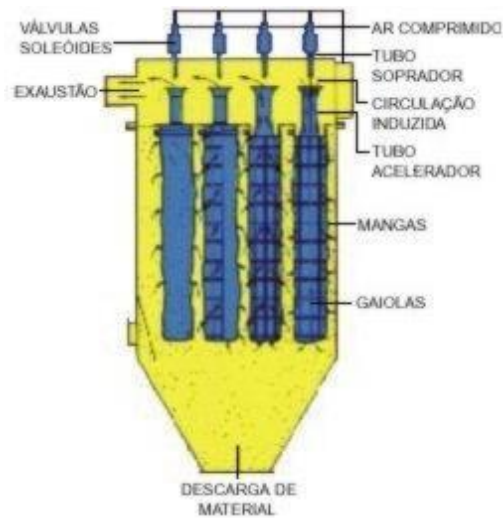
7.2 Filtrado del aire

Un aspecto importante en este proyecto es la filtración del aire atmosférico que se utiliza para la oxidación del amoníaco. La filtración del aire es necesaria para eliminar las impurezas que contiene y así reducir la posibilidad de reacciones secundarias en el reactor. El filtrado consiste en hacer pasar una corriente de gases cargados con partículas de polvo a través de un medio poroso donde queda atrapado el polvo.

El filtro de mangas ha sido uno de los más utilizados durante los últimos años, ya que se pueden tratar grandes volúmenes de gases con altas concentraciones de polvo. Con este tipo de equipos pueden conseguirse rendimientos mayores del 99%, independientemente de las características de gas, haciendo posible la separación de partículas de hasta un tamaño del orden de 0.01 micras.

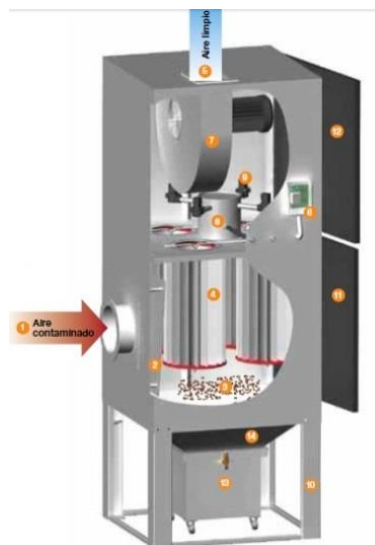
Conforme pasa el gas, la capa de polvo depositado sobre el material filtrante, que colabora en el proceso de interceptación y retención de partículas de polvo, se va haciendo mayor, aumentando la resistencia al flujo y la pérdida de carga, lo que obliga a disponer de mecanismos para la limpieza automática y periódica del filtro. En la *figura 7.3* se muestra una imagen de un filtro de mangas.

Figura 7.3 Filtro de mangas.



Sin embargo cuando se quiere filtrar grandes caudales en los que la concentración de polvo no es tan alta, como por ejemplo el aire atmosférico, se pueden utilizar los filtros de cartuchos (*figura 7.4*).

Figura 7.4 Filtro de cartuchos



En un filtro de cartuchos el aire entra en la tolva del filtro y por efecto de la disminución de la velocidad y de la precámara de choque, las partículas de mayor tamaño caen en la tolva de recolección del filtro. Las partículas más finas suben hasta donde se encuentran los cartuchos filtrantes y pasan a través de ellos desde la parte exterior a la interior, de tal modo que el polvo se deposita externamente mientras que el aire sube y sale depurado.

7.3 Mezclador

Al igual que el filtrado del aire es muy importante, un buen mezclado del amoníaco gas y el aire será imprescindible para promover la formación de óxido nítrico y reducir las reacciones colaterales.

7.4 Descripción general de un rehervidor

Un rehervidor es un evaporador usado en la industria de procesos para generar un flujo de vapor. Normalmente se emplea vapor de agua como flujo que cede calor al fluido a calentar. Este se hace pasar por los tubos y la temperatura de salida de la corriente de líquido al que se ha transferido calor se suele controlar con una sonda. El caudal de vapor se regulará en función de la temperatura.

7.4.1 Descripción general de las partes de un rehervidor

En esencia un rehervidor no se trata más que de un intercambiador de carcasa y haz de tubos. A continuación se muestran las indicaciones generales según las normas TEMA (Exchanger Manufacturers Association) sobre las diferentes partes que componen un Intercambiador de Coraza y Haz de Tubos.

Un intercambiador de calor de carcasa y haz de tubos se divide principalmente en 3 partes fundamentales: Haz tubular, Distribuidor y Carcasa.

❖ Haz tubular

El haz de tubos es la parte más importante de un intercambiador de calor tubular. En general los tubos constituyen el componente más costoso del intercambiador y el que se corroe con mayor facilidad. El haz está compuesto por un número de tubos unidos a dos placas tubulares perpendiculares a ellos y colocados de forma regular. Se completa con deflectores o placas de soporte, tirantes y comúnmente, espaciadores.

❖ **Placas tubulares**

Las placas tubulares que mantienen unidos los tubos tienen también como misión mantener separados los dos fluidos que llevan a cabo el intercambio. En todos los intercambiadores se observan dos placas tubulares, excepto en el caso de tubos en forma de “U”.

La distancia entre tubos adyacentes (entre sus centros), se denomina paso de tubos o pitch. Esta distancia no puede ser demasiado pequeña puesto que se debilita la placa tubular. Su valor es al menos de 1,25 el valor del diámetro exterior de tubos. La distribución puede ser triangular, cuadrada o cuadrada girada. La disposición triangular mejora el intercambio y admite un 15 % más de tubos pero no admite la limpieza mecánica de los tubos por lo que se emplea en el caso de que se utilicen fluidos limpios. La disposición cuadrada si permite la limpieza exterior al ser los tubos más accesibles y tiene menor caída de presión.

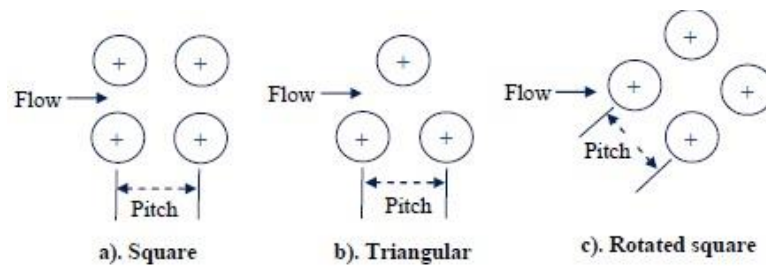
En la *tabla 7.1* se presentan los valores de distancia entre tubos más comunes y las disposiciones que pueden adoptar. En donde D_{ot} es el diámetro externo del tubo y p es la distancia entre tubos.

Tabla 7.1 Valores y configuraciones de paso de tubo.

D_{ot} (in)	D_{ot} (mm)	p (mm)	Configuración
5/8	15.88	20.63	Triangular
3/4	19.05	23.83	Triangular
3/4	19.05	25.39	Cuadrada
3/4	19.05	25.39	Cuadrada girada
3/4	19.05	25.39	Triangular
1	25.39	31.75	Cuadrada
1	25.39	31.75	Cuadrada girada
1	25.39	31.75	Triangular

En la *figura 7.5* se muestra una representación de los tubos en función de su disposición.

Figura 7.5 Disposición de los tubos; cuadrada, triangular y cuadrada girada.



❖ Tubos

Los tubos son cilíndricos. El diámetro de dichos tubos suele estar dentro de tolerancias estrictas y se recomienda un valor de $\frac{3}{4}$ pulgadas para comenzar con los cálculos. El espesor de pared de tubo, se representa por valores normalizados y debe ser suficiente para soportar las presiones y temperaturas de diseño.

La longitud del tubo también suele estar normalizada pero puede ser cualquiera, aunque se tiende a mantener la uniformidad.

❖ Deflectores

El soporte inmediato de los tubos se hace mediante chapas perpendiculares a los mismos espaciadas regularmente y denominadas deflectores. El espaciamiento mínimo entre deflectores es de $\frac{1}{5}$ el diámetro de la carcasa. El espaciado máximo está limitado por el requisito de que se proporcione un soporte adecuado a los tubos.

Se dispone de deflectores con fines de incrementar la transmisión de calor. Cuando no se requieren deflectores del lado de la carcasa con este fin, como ocurre en el caso del rehervidor, se instalan soportes de tubos.

Los deflectores cumplen con otra misión, conducen el flujo del fluido de carcasa por recorridos transversales y longitudinales que crean turbulencia y mejoran el proceso de intercambio de calor.

❖ Unión tubo-placa tubular

Esta unión, que puede ser de distintos tipos, debe impedir el paso de los fluidos de forma que no se mezclen, y debe ser lo suficientemente fuerte como para soportar las fuerzas debidas al paso de los tubos y la dilatación térmica. Para su elección, se debe tener en cuenta el material de las placas y de los tubos.

❖ Carcasa

Es el cilindro externo que envuelve el haz tubular. Los intercambiadores de calor tienen un único diámetro nominal de carcasa, excepto los rehervidores tipo caldera que tienen dos carcasas correspondientes al haz tubular y la envolvente.

La configuración de la carcasa puede ser de un solo paso (muy común), de dos pasos (con un deflector longitudinal) y que mejora la eficacia térmica; o de flujo dividido, donde el deflector longitudinal puede ser sólido o encontrarse perforado.

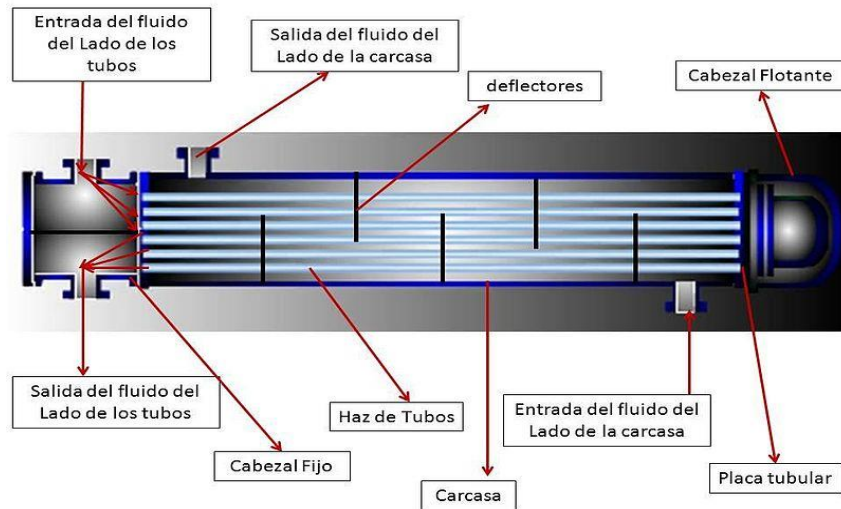
El fondo de la carcasa es la tapa del lado contrario al distribuidor. Hay algunos tipos de intercambiadores donde no existe este elemento como tal.

❖ Distribuidor

Es la parte por la que entra el fluido y lo dirige hacia el interior de los tubos hasta que sale del intercambiador. Hay que señalar también que el distribuidor es donde se encuentran las chapas de partición que dividen la superficie en distintas secciones incomunicadas entre sí.

En la *figura 7.6* se muestran en general las partes principales de un intercambiador de calor de coraza y haz de tubos.

Figura 7.6 Partes de un intercambiador de calor de coraza y haz de tubos.



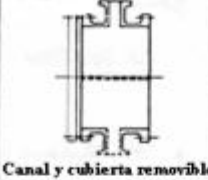
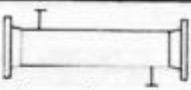
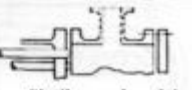

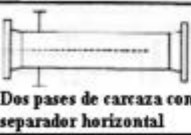
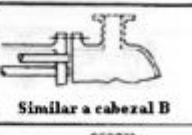
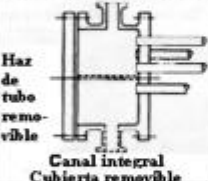
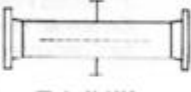
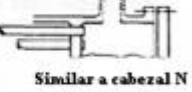
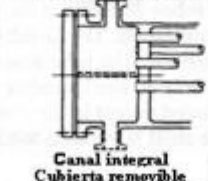
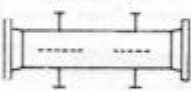

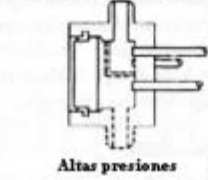
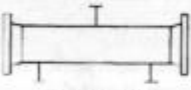
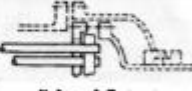
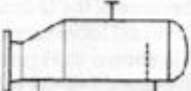

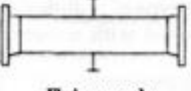
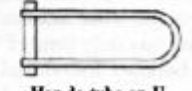

7.4.2 Diseño del rehervidor

El diseño del intercambiador se realizará según el código TEMA (Tubular Exchangers Manufactures Association). Dentro de la norma TEMA hay tres clases de estándar mecánico: clase R, clase C, clase B. La clase B es la que se aplicará, ya que ésta es aplicable a intercambiadores de carcasa y tubos para procesos químicos.

Se define según el código TEMA, por tres letras que describen por orden el tipo de cabezal distribuidor, carcasa y cabezal de salida o retorno.

En la *figura 7.7* se muestran los tipos de intercambiadores según las normas TEMA.

Figura 7.7 Resumen de la nomenclatura del código TEMA para intercambiadores de carcasa y tubo.

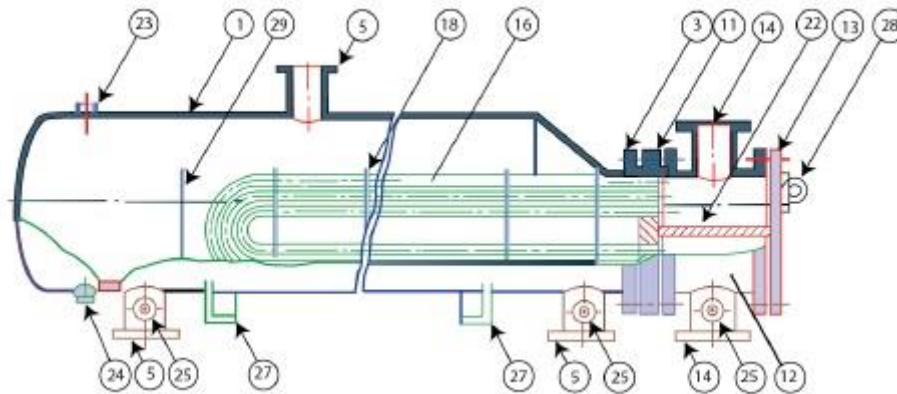
	Frente Cabezales estacionarios	Tipo de carcasa	Terminal Tipos de cabezal
A	 Canal y cubierta removible	E  Un pase de carcasa	L  Similar a cabezal A
B	 Bonete (cubierta integral)	F  Dos pases de carcasa con separador horizontal	M  Similar a cabezal B
C	 Haz de tubo removible Canal integral Cubierta removible	G  Flujo dividido	N  Similar a cabezal N
N	 Canal integral Cubierta removible	H  Doble flujo dividido	P  Cabezal flotante empacado por el exterior
D	 Altas presiones	J  Flujo dividido	S  Cabezal flotante
		K  Rehervidor	T  Cabezal flotante deslizante
		X  Flujo cruzado	U  Haz de tubo en U
			W  Sello externo

7.4.3 Tipos de rehervidor

❖ Rehervidor tipo caldera

Consiste de una carcasa tipo K, montada en horizontal. La ebullición del fluido de proceso tiene lugar en el lado carcasa y el calentamiento en general por vapor de proceso. En la *figura 7.8* se muestra una imagen de este tipo de rehervidor.

Figura 7.8 Rehervidor tipo caldera.

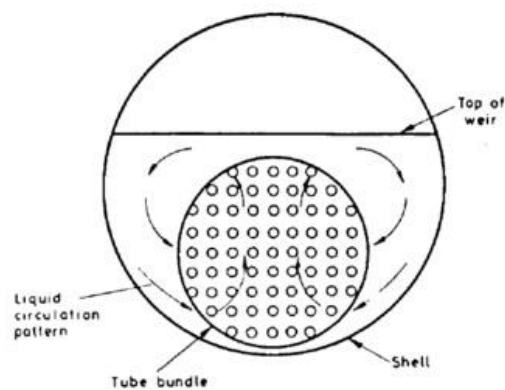


Las características principales en términos de diseño son:

- Diámetro de la carcasa típico: 0.6-3 m
- Longitud de carcasa 2.4 a 12 m.
- Tamaño máximo determinado por dificultades en el transporte y el manejo.
- Haz de tubos en general con área transversal circular.
- Relación entre diámetro carcasa y diámetro del haz de tubos entre 1.5 a 2 aunque hay que considerar un espacio mínimo para el vapor de 0.25 m sobre el nivel del líquido.

En la *figura 7.9* se muestra una representación de la sección transversal de este tipo de rehervidor.

Figura 7.9 Sección transversal de un rehervidor tipo caldera



A veces el haz de tubos es semicircular, y ocupa toda la parte baja del rehervidor. El rebosadero que limita el nivel del líquido se sitúa entre 0.05 y 0.15 m por encima de la parte superior del haz de tubos. Si el líquido se evapora completamente, su nivel se mantiene por un control de nivel.

Los tubos son preferentemente tubos en U. Si hay ensuciamiento en el lado tubos (este problema no se presenta si el fluido de calentamiento es vapor) se usan tubos rectos con cabezal flotante. Los tubos están soportados por placas. Estas no afectan la circulación, porque el flujo principal es en dirección normal al eje del haz.

En la *tabla 7.2* se muestran las ventajas y los inconvenientes más destacados de los rehervidores tipo caldera.

Tabla 7.2 Ventajas e inconvenientes de los rehervidores tipo caldera.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none">- No presenta dificultades en el diseño.- El coeficiente global se mantiene constante y se puede estimar con poco error.- Salidas de vapor y líquido separadas.- Se puede trabajar con altas presiones.- Cuando la diferencia de temperaturas es pequeña se pueden mejorar los coeficientes disminuyendo la separación de los tubos.	<ul style="list-style-type: none">- La acumulación de suciedad y material sólido en la zona de los haces de tubos causa ensuciamiento.- La diferencia de temperaturas disponible es menor.

Por lo tanto los rehervidores tipo caldera están indicados para fluido limpios y para cualquier presión de operación.

❖ **Rehervidor con termosifón vertical**

Un rehervidor con termosifón vertical típico consiste de una carcasa tipo E montada verticalmente y con un solo paso por tubos. La ebullición del fluido del proceso ocurre en los tubos. El fluido calefactor, que normalmente es vapor de agua se alimenta por el lado carcasa en contracorriente.

En la *tabla 7.3* se muestran las ventajas e inconvenientes más relevantes de un rehervidor con termosifón vertical.

Tabla 7.3 Ventajas e inconvenientes de un rehervidor con termosifón vertical.

Ventajas	Inconvenientes
- La velocidad de circulación es alta por lo que no hay problemas de ensuciamiento.	- Presenta problemas de estabilidad si se trabaja con diferencias de temperatura muy altas. - Presenta problemas para presiones de operación muy bajas o muy altas.

Por lo tanto este tipo de rehervidores se utilizaran con fluidos sucios y con unas condiciones de operación de presión y diferencias de temperatura moderadas.

❖ Rehervidor con termosifón horizontal

Un rehervidor con termosifón horizontal consiste típicamente de una carcasa montada horizontalmente, de tipo X, G, H, J o E.

La de tipo E solo se utiliza para rehervidores pequeños porque con carcasa grandes presenta problemas de pérdida de carga. Para intercambiadores grandes donde hay que vigilar la pérdida de carga para asegurar una buena circulación es aconsejable una carcasa tipo J. Para servicios en vacío con fluidos con un intervalo de ebullición pequeño se aconseja una carcasa tipo X. Para fluidos con un intervalo de ebullición amplio se aconseja las carcasas G i H.

En la *tabla 7.4* se muestran las ventajas e inconvenientes más relevantes de un rehervidor con termosifón horizontal.

Tabla 7.4 Ventajas e inconvenientes de un rehervidor con termosifón horizontal.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Presentan los coeficientes más elevados por la alta turbulencia generada por los deflectores y la alta circulación. - Es el intercambiador que para la misma temperatura de entrada del fluido calefactor, consigue una diferencia de temperatura efectiva mayor. - Para fluidos viscosos y con un amplio intervalo de ebullición se consiguen mejores coeficientes de intercambio de calor. - El alto grado de circulación dificulta la deposición de residuos sobre la superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Si hay problemas de ensuciamiento en el lado de la carcasa será difícil de limpiar. - Requiere de un diseño preciso. - Las carcasas utilizadas son caras. - Para condiciones de alto vacío u alta presión los resultados no son buenos.

Por lo tanto será indicada para fluidos que no presenten ensuciamiento excesivo y a presión moderada.

❖ **Rehervidores de circulación forzada**

En este caso se emplea una bomba para garantizar la circulación del líquido más allá de la superficie de transmisión de calor.

Los reboilers de circulación forzada pueden ser horizontales o verticales. Puesto que el líquido de la alimentación está en su punto de ebullición, se debe asegurar el NPSH (altura de aspiración positiva neta) adecuado para la bomba si es de tipo centrífugo. Las desventajas principales son los costes de bomba y energía, y su mantenimiento. Este modo de operación es un último recurso con fluidos viscosos o que ensucien los materiales, o cuando la fracción vaporizada debe mantenerse muy baja.

7.4.4 Elección del tipo de Rehervidor

Los diferentes tipos de rehervidores son apropiados para muchas tareas diferentes. A la hora de la elección, la decisión no se toma solamente por el coste sino que también se han de tener en cuenta otros factores como: la simplicidad en el diseño, la práctica usual en la instalación deseada, etc.

Los factores importantes a tener en cuenta son:

- Fluidos con ensuciamiento por el interior de los tubos: si el fluido de proceso tiene tendencia al ensuciamiento se ha de elegir un termosifón vertical ya que el tipo caldera tiene las peores características de ensuciamiento.
- Ningún tipo de rehervidor es adecuado para trabajar a altas presiones por tanto la circulación puede mejorarse con una bomba en la entrada del rehervidor.
- Para sistemas en vacío el rehervidor con termosifón horizontal es preferible al vertical. El rehervidor tipo caldera no presenta problemas de operación, por tanto será una opción a considerar.
- No se debe utilizar el rehervidor tipo caldera para líquidos que forman espumas.
- El diseño de un rehervidor tipo caldera es más sencillo ya que la transferencia de calor y los aspectos hidrodinámicos son casi independientes.
- El control del rehervidor tipo caldera es más sencillo y además no presenta problemas de estabilidad.

A continuación en la *tabla 7.5* se muestra un resumen de las características de cada tipo de rehervidor para considerarlas en la elección del más adecuado a los fines del proyecto.

Tabla 7.5 Tabla resumen para la elección del tipo de rehervidor

Condiciones de operación	Tipo de Reboiler		
	Kettle	Termosifón H	Termosifón V
Presión de trabajo			
Moderada	C	B	M
Cerca punto crítico	M-C	D	D
Vacío elevado	B	D	D
Diferencia temperaturas			
Moderada	C	B	M
Grande	M	D	B-D
Pequeña	B-R	B	D
Muy pequeña	R-P	R	P
Fouling			
Limpio	B	B	B
Moderado	D	B	M
Alto	P	D	M
Muy alto	P	P	D
Mezcla			
Componentes puros	B	B	B
Estrecho	B	B	M
Ancho	R	M	B
Muy ancho	R-P	B-D	P
Líquido viscoso	R-P	B-D	P

M: Mejor opción, B: Buena operación, R: Regular, D: Difícil diseño, P: Pobre resultado
C: Funcionamiento correcto pero caro

7.5 Descripción del reactor

7.5.1 Catálisis homogénea y catálisis heterogénea

Para la oxidación del amoniaco se requiere un reactor catalítico. A continuación se destacan las diferencias principales entre catálisis homogénea y catálisis heterogénea.

La catálisis homogénea tiene lugar cuando los reactivos y el catalizador se encuentran en la misma fase, sea líquida o gaseosa.

Una ventaja de este tipo de catálisis es la ausencia de efectos de envenenamiento tan frecuentes en el caso de la catálisis heterogénea, y que obliga a tratamientos costosos de eliminación de impurezas. Uno de los inconvenientes de la catálisis homogénea es la dificultad de separar el catalizador del medio reaccionante, lo que presenta un mayor coste que el de los procesos heterogéneos convencionales.

Sin embargo, en la catálisis heterogénea el catalizador está presente en la reacción en una fase diferente a la de los reactivos. Generalmente el catalizador es un sólido y los reactivos son líquidos o gases.

La separación más simple y completa del catalizador del producto provoca que la catálisis heterogénea sea más atractiva económicamente. Uno de los inconvenientes que presenta los catalizadores heterogéneos es la desactivación, que puede originarse por sinterizado de la superficie, envenenamiento irreversible provocado por alguna sustancia o ensuciamiento provocado por la deposición de otras sustancias.

En la *tabla 7.6* se resumen las principales diferencias entre catálisis homogénea y heterogénea.

Tabla 7.6 Tabla de diferencias entre la catálisis homogénea y heterogénea.

CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS CATALÍTICOS

	HOMOGÉNEA	HETEROGÉNEA
ACTIVIDAD	MUY BUENA	BUENA
SELECTIVIDAD	ALTA	MENOS CONTROLABLE
CONCENTRACIÓN	BAJA	ALTA
VIDA-ESTABILIDAD	PUUEDE SER BAJA	ALTA. REGENERACIÓN
RECUPERACIÓN	DIFÍCIL	SENCILLA
REPRODUCIBILIDAD	ALTA	POBRE
ESTUDIO	SENCILLO	DIFÍCIL
MODIFICACIÓN	FÁCIL	MENOS ASEQUIBLE
CONDICIONES	MODERADAS	ELEVADAS
TECNOLOGÍA	ESCASA	AVANZADA
USO INDUSTRIAL	MENOR	MAYOR

Otras posibles clasificaciones de los catalizadores se basan en su estado físico, así pues, el catalizador puede ser gaseoso, líquido o sólido. Dependiendo de la sustancia sobre la cual se ha manufacturado, el catalizador puede ser orgánico (enzimas o ácidos orgánicos) o inorgánicos (metales, óxidos metálicos, etc.). Finalmente, basado en la acción la catálisis puede clasificarse en enzimática, acido-base, fotocatalítica, etc.

7.5.2 Tipos de reactores catalíticos

Los reactores catalíticos pueden ser de lecho fijo o de lecho fluidizado. En la industria química los más utilizados son los reactores de lecho fijo debido a la simplicidad de diseño y funcionamiento comparado con el de lecho fluidizado y en consecuencia las unidades de lecho fijo son más económicas de construir y de operar. A continuación se describen las características de estos dos tipos de reactores catalíticos.

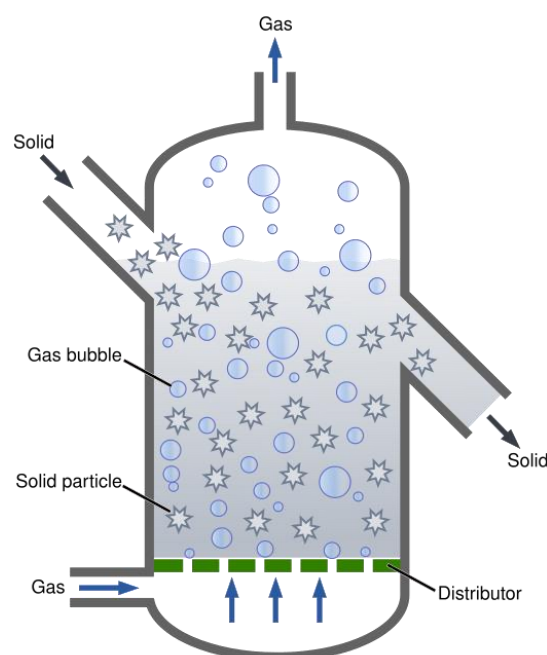
❖ Reactor catalítico de lecho fluidizado

Un reactor de lecho fluidizado es aquel que el lecho de sólidos o partículas catalíticas está soportado por un flujo de gas. Este reactor facilita la carga y la extracción del catalizador, lo cual es una ventaja cuando el lecho de sólidos debe ser eliminado y remplazado con frecuencia.

Las aplicaciones de reactores de lecho fluidizado incluyen craqueo catalítico de hidrocarburos y relacionados con fracciones de petróleo de peso molecular alto.

En la *figura 7.10* se muestra un esquema de un reactor catalítico de lecho fluidizado.

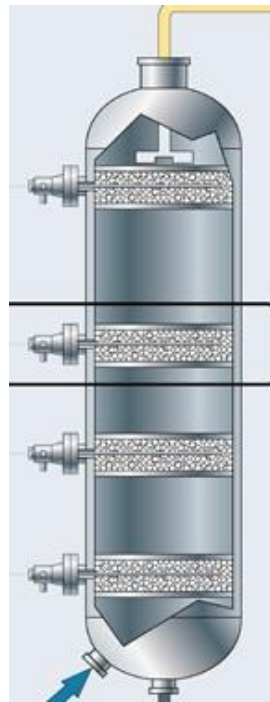
Figura 7.10 Reactor catalítico de lecho fluidizado



❖ Reactor catalítico de lecho fijo

La mayor parte de los procesos catalíticos industriales se llevan a cabo en reactores de lecho fijo. En la *figura 7.11* se muestra un esquema de un reactor de este tipo.

Figura 7.11 Reactor catalítico de lecho fijo



En los reactores de lecho fijo las partículas están inmobilizadas, y por tanto, en íntimo contacto unas con otras. Las partículas catalíticas pueden variar de tamaño y forma: granulares, cilíndricas, esféricas, etc. En algunos casos, especialmente con catalizadores metálicos como el platino, no se emplean partículas de metal, sino que éste se presenta en forma de mallas de alambre. El lecho catalizador está constituido por un conjunto de capas de este material. Estas mallas catalíticas se emplean en procesos comerciales como por ejemplo la oxidación de amoníaco y la oxidación del acetaldehído.

La oxidación de amoníaco con aire, cuando la concentración de amoníaco en aire es aproximadamente de un 10 por 100, se lleva a cabo haciendo pasar la corriente de alimento a través de una malla fina catalítica constituida por rodio, Rh, entre un 2 y 10 por 100 sobre platino, Pt, empleando entre 10 y 30 mallas catalíticas.

A continuación se consideran las diferentes disposiciones para el flujo de fluidos, temperatura y configuraciones para lechos de sólido en reactores de lecho fijo:

1. Disposición del flujo

La mayor parte de reactores de lecho fijo operan con flujo axial descendente de fluido, aun así, existe la posibilidad de operar en flujo radial hacia el interior o el exterior.

2. Disposición del lecho y de eliminación de calor

Con flujo axial de fluido, considerando si hay o no intercambio de calor, se distingue entre operación adiabática y no adiabática:

- Si la operación es adiabática, no se intercambia calor con el exterior, en consecuencia, la temperatura aumenta si la reacción es exotérmica y disminuye si es endotérmica. El reactor puede consistir en un único lecho de catalizador (reactor de una etapa) o puede que el catalizador esté dividido en dos o más lechos dispuestos en serie (reactor multietapa).
- Si la operación no es adiabática, se intercambia calor con el lecho para controlar la temperatura. El reactor es esencialmente un intercambiador de carcasa y tubos, con catalizador en el interior o exterior de los tubos y, con un fluido refrigerante circulando por la carcasa o los tubos.

Para llevar a cabo el diseño de un reactor catalítico de lecho fijo se deben tener en cuenta las propiedades del sistema además de los costes de construcción, operación y mantenimiento.

Las propiedades del sistema dependen de la reacción, del catalizador y del lecho. En la reacción se han de tener en cuenta los esquemas y la velocidad de reacción así como el equilibrio químico, la entalpía de reacción y la dependencia de la reacción con la temperatura. Para la elección del catalizador se deberá tener en cuenta sus propiedades y composición así como la estructura y el tamaño de este. Finalmente, en el lecho de partículas se ha de ver si existe transmisión de calor a través y la caída de presión del fluido a través de dicho lecho de partículas.

Además los costes de construcción, operación y mantenimiento dependerán de si se trata de un reactor o de un tipo de intercambiador.

7.6 Equipos para la impulsión de fluidos

Una etapa importante en el diseño de la instalación consiste en la adecuada elección del tipo de máquinas impulsoras del fluido según las características de este y de su flujo.

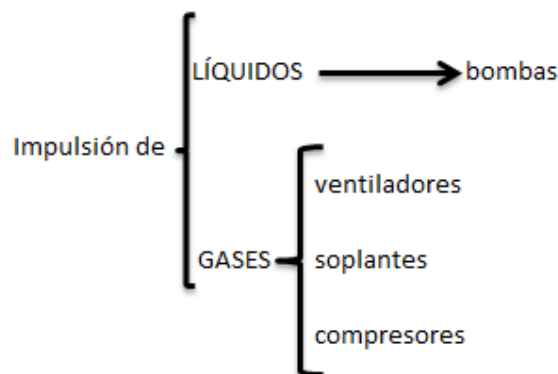
Cuando un fluido no posee suficiente energía para vencer las diferencias de altura, velocidad o presión, debidas estas últimas tanto a las condiciones en los extremos de la conducción como a su pérdida de energía por rozamiento, es preciso comunicársela con aparatos mecánicos adecuados.

Las formas de impulsar un fluido a través de una conducción son muy variadas, aunque básicamente se pueden reducir a una o varias de las siguientes:

- Por desplazamiento volumétrico del fluido, bien sea mecánicamente o con la ayuda de otro fluido: bombas de desplazamiento positivo.
- Por la acción de la fuerza centrífuga: bombas centrífugas.
- Por la impulsión mecánica: ventiladores y compresores de flujo axial.
- Por transporte de cantidad de movimiento mediante un segundo fluido: bombas de chorro, eyectores.
- Por la acción de un campo magnético: bombas magnéticas.
- Por gravedad.

Según que el fluido que se va a impulsar sea un líquido o un gas, las máquinas utilizadas reciben distinto nombre. En la *figura 7.12* se muestra una clasificación.

Figura 7.12 Clasificación de las maquinas impulsoras de fluidos.



La anterior clasificación no es muy rigurosa, pues, por ejemplo, las denominadas “bombas de vacío” impulsan normalmente gases, que son extraídos de un recipiente; otras veces, la diferencia entre ventilador y soplante, o soplante y compresor, no está claramente establecida.

En cualquier caso, a continuación se van a explicar las diferentes maquinas impulsoras de los fluidos siguiendo la clasificación que se detalla en la *figura 7.10*.

- **Bombas**

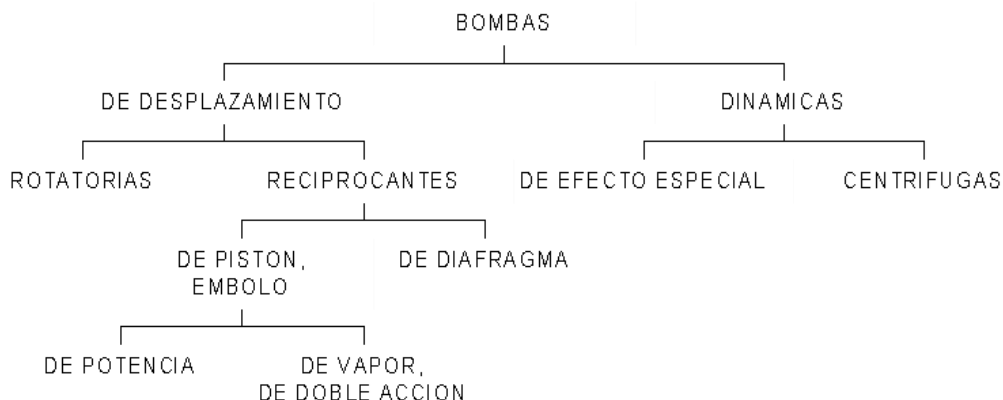
Las bombas son aparatos que confieren energía para transportar líquidos de un lugar a otro. Suministra la energía necesaria para succionar el líquido de un tanque y descargarlo con una velocidad volumétrica de flujo constante a través de la salida de conducción.

Las características más importantes de una bomba son:

- Capacidad, cantidad de fluido descargado por unidad de tiempo (m³/s), en condiciones determinadas de operación.
- Rendimiento.
- Carga que suministra al fluido.
- Potencia necesaria para accionarla.

En la *figura 7.13* se muestra una clasificación de las bombas.

Figura 7.13 Tipos de bombas



- **Ventiladores**

Un ventilador es una máquina rotatoria que impulsa un gas continuamente originando un incremento de presión que no excede los 0,05 atm. Por tanto, se definen como simples transportadores de gas, no comprimen prácticamente el gas sino que se limitan a hacerlo circular.

Suministran caudales elevados con un incremento de presión muy pequeño. Debido a ello se puede considerar el gas como un fluido incompresible (variaciones de densidad a la entrada y a la salida despreciables).

Los tipos de ventiladores más importantes son los axiales y los centrífugos. En la *tabla 7.7* se muestran las principales características.

Tabla 7.7 Tabla de características de los ventiladores axiales y centrífugos

Ventiladores axiales	Ventiladores centrífugos
<ul style="list-style-type: none"> -Proporcionan caudales más elevados que los centrífugos e incrementos de presión menores. - En los de una sola etapa $\Delta P_{\max}=12$ cm agua. -En los de acción múltiple $\Delta P_{\max}=50$ cm agua. -Constan de uno o más discos dotados de aspas o álabes que giran sobre un eje paralelo a la dirección del flujo del gas. -Los álabes pueden ser rectos o curvos y el diámetro del rotor hasta de varios metros. -Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado que requieran altos caudales con presión media a baja. -Se aplica en circulación y extracción de aire en naves industriales. 	<ul style="list-style-type: none"> -Análogos a las bombas centrífugas. -Constan de un rodete provisto de aletas radiales de formas variadas (rectas o curvadas hacia adelante o hacia atrás) que giran a gran velocidad , impulsando el gas en dirección radial. -Suministran caudales menores que los axiales y presiones de descarga superiores ($\Delta P=15-60$ cm agua) - $\Delta P_{\max}=80$ cm agua. -Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión. -Puede ser usado en aplicaciones industriales, con ambientes corrosivos y/o bajos contenidos de polvo. - Es utilizado generalmente para aplicaciones industriales con aire limpio.

A continuación en la *figura 7.14* se muestra una imagen de un ventilador axial mientras que en la *figura 7.15* se muestra un ventilador centrífugo.

Figura 7.14 Ventilador axial



Figura 7.15 Ventilador centrífugo



- **Soplantes**

Las soplantes centrífugas (de una sola etapa) son máquinas análogas a las bombas centrífugas. Para conseguir aumentos apreciables de presión han de operar a gran velocidad de giro (entre 1000 y 30000 r.p.m.) y con rodetes de gran diámetro; esto se debe a la baja densidad del gas.

Constan esencialmente de dos partes: el rodete que impulsa el gas y la carcasa o envoltura que primero conduce al gas hasta el rodete y después lo recibe de él a una presión mayor.

El gas es comprimido por la acción dinámica de las paletas giratorias de uno o más rodetes saliendo el gas del rodete impulsor en una dirección perpendicular al eje del mismo.

Las soplantes rotatorias son máquinas en las que la compresión se lleva a cabo mediante la acción positiva de elementos rotatorios. Existen tres tipos fundamentales: de alta razón de compresión (de paletas radiales, de anillo líquido), de baja razón de compresión (bilobulares).

- **Compresores**

Los compresores son máquinas especialmente diseñadas y construidas para aumentar la presión en los gases.

Lo más común es que se comprima aire, pero en la industria es frecuente la necesidad de comprimir otros gases. A veces se utiliza de manera intermitente y (un taller, llantera, restaurante, planta procesador, etc.) a veces de forma continua (bombeo de gasoductos, embotelladoras de gaseosas o cerveza, sopladores de bolsas y envases plásticos, etc.).

En la *figura 7.16* se muestra una clasificación de los principales tipos de compresores.

Figura 7.16 Tipos de compresores



Para seleccionar adecuadamente el tipo de máquina que debe utilizarse en una instalación determinada, es necesario reunir previamente la siguiente información:

- Tipo de fluido que se va a impulsar: densidad, viscosidad, presión de vapor, contenido en sólidos, propiedades corrosivas, abrasivas y lubricantes, etc.
- Condiciones del bombeo: caudal, presión de salida, presión de entrada, temperatura, variaciones máximas posibles de temperatura y caudal, etc.

7.7 Conducciones: tuberías y accesorios

En todas las instalaciones químicas es necesario trasladar de un punto a otro diversos fluidos, tanto líquidos como gases, a presiones y velocidades muy variables. Ello se realiza mediante conducciones de forma y tamaños diversos, cuyos materiales y dimensiones se eligen de acuerdo con las exigencias de cada caso.

7.7.1 Accesorios

Los fluidos que circulan por las conducciones, con frecuencia han de cambiar de dirección, sufrir estrechamientos, ensanchamientos, ramificaciones, etc. Para ello, existen accesorios de las conducciones de muy diversas clases, cuyos diámetros y roscas coinciden con los nominales de las tuberías comerciales. En general, las roscas pueden ser macho o hembra, pudiendo existir accesorios cuyas dos roscas presenten cualquier posible combinación: doble macho, macho-hembra, doble hembra.

Los grupos de accesorios más importantes son los siguientes:

- **Ramificaciones (tes y crucetas)**

Pueden tener tres o cuatro salidas, en un mismo plano o en planos diferentes. También pueden tener alguna salida de tamaño diferente a las otras (ramificación con reducción, etc.). Se utilizan para separar una corriente en varios, o para juntar dos corrientes en una tercera, etc.

- **Codos**

Son accesorios para cambiar de dirección la tubería. Se fabrican de 45 o 90°, con radios pequeño, medio o grande. Al igual que en las ramificaciones pueden darse codos con reducción simultánea. Tanto unos como otros presentan generalmente escasa pérdida de carga.

- **Manguitos**

Sirven para unir dos tramos rectos de tubería. Según sean las roscas de sus extremos pueden ser doble hembra, doble macho, macho hembra y con reducción.

- **Tapones ciegos**

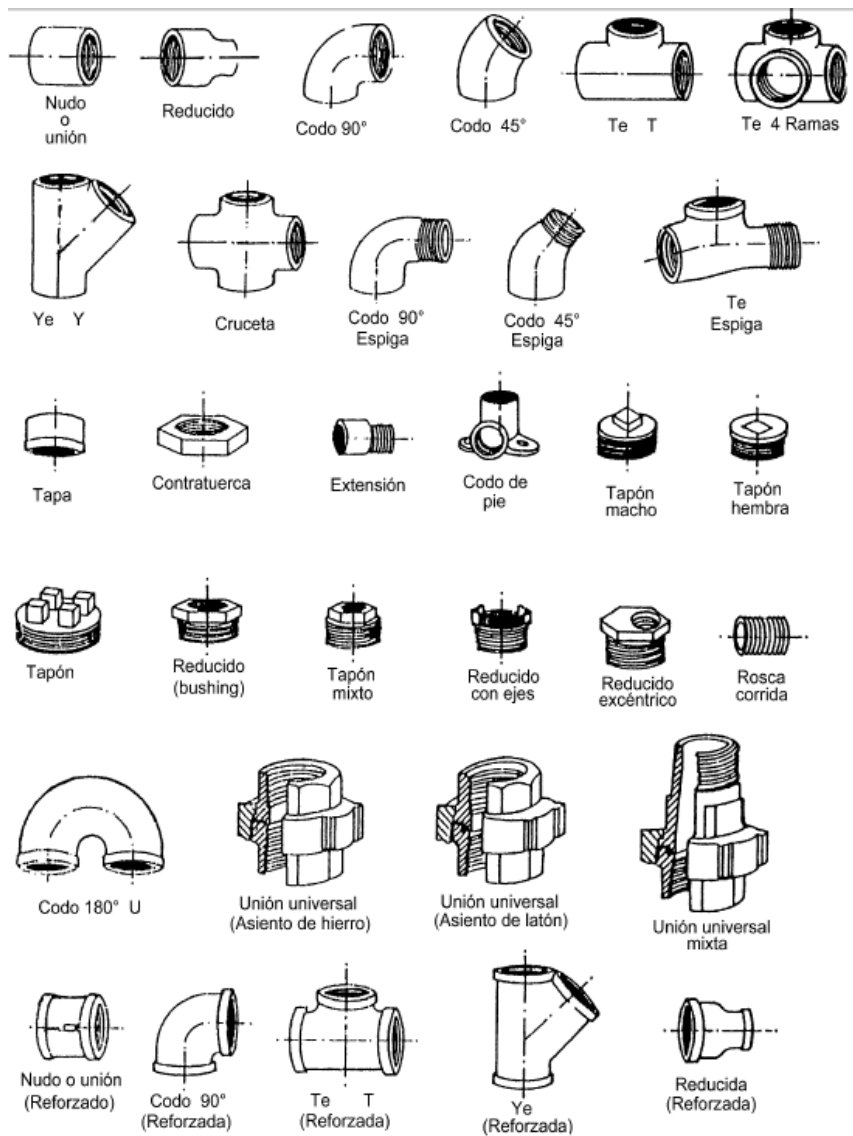
Sirven para cerrar extremos de tuberías. Pueden ser macho o hembra, en caso de ser roscados. Si la unión a la tubería es mediante bridas, se denomina brida ciega.

- **Uniones con tuerca**

La unión de dos tuberías fijas, que por tanto no pueden roscarse, puede efectuarse con la unión con tuerca. Constan de dos piezas roscadas que se unen a los extremos de cada tubería fija, y de una tercera pieza que se acopla también mediante rosca al conjunto, apretando las dos piezas anteriores, que proporcionan el cierre.

En la *figura 7.17* se muestran los tipos de accesorios más importantes.

Figura 7.17 Tipos de accesorios



7.7.2 Válvulas

La conducción o transporte de fluidos por medio de tuberías, sean éstos fluidos líquidos o gaseosos, requieren muchas veces el control del flujo, su regulación o impedir que éste pueda retornar en contra de un determinado sentido de circulación y, muchas veces también se requiere poder mantener el flujo a una determinada presión de servicio o liberar el exceso de presión cuando ésta sobrepasa ciertos límites de seguridad.

Para estas variadas funciones se utilizan las válvulas, las cuales, intercaladas convenientemente en las tuberías, deben cumplir el fin para el cual se las ha elegido.

Para su elección se debe tener en cuenta su capacidad, la clase de fluido, su temperatura, la clase y tipo de tubería en el cual se debe instalar, etc.

Las válvulas pueden clasificarse según diferentes características. Según la operatividad del obturador de la válvula podemos encontrar diversos tipos. La forma como se desplaza el obturador define la geometría y modo de funcionamiento de la válvula.

- **Lineales (válvulas de movimiento lineal)**

El vástago de la válvula empuja el obturador mediante un movimiento lineal directo. La mayoría de estas válvulas están actuadas por un actuador lineal o multigiro (también de movimiento lineal).

Generalmente las válvulas lineales pasan a ser de tipo multigiro cuando en vez de ser operadas por un actuador, lo son de forma manual.

- **Multigiro (válvulas de movimiento lineal)**

El obturador se desplaza siguiendo un movimiento lineal provocado por el empuje que hace su eje al girar sobre una rosca.

La operación es lenta, pero permite posicionar de forma precisa y estable el obturador, requisito en algunas válvulas de control. Pueden ser operadas manualmente o mediante un actuador tipo multigiro.

Los tipos de válvulas más relevantes son: válvula anular, válvula de compuerta, válvula de diafragma, válvula de globo, válvula de cono fijo, válvula de aguja y válvula tipo pinch.

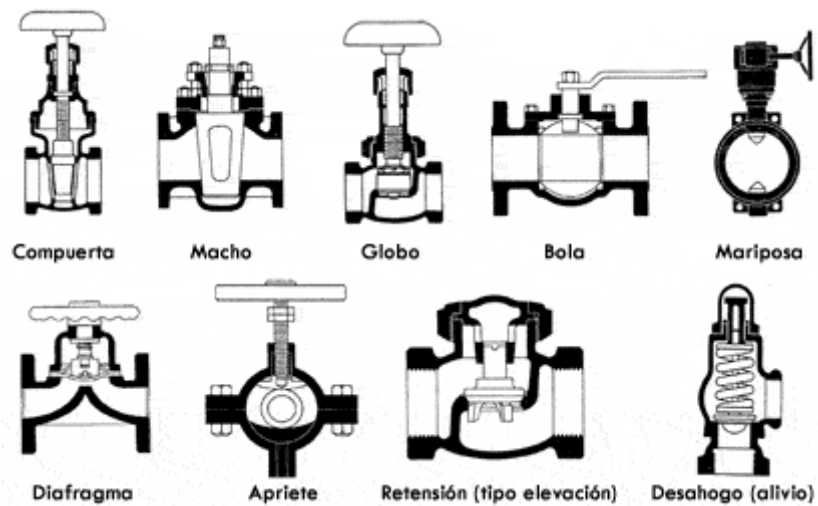
- **Cuarto de giro (válvula rotativa)**

El obturador y eje tienen un giro de 0° a 90° desde la posición totalmente abierta a cerrada. Son válvulas de rápida obertura y pueden ser operadas manualmente o mediante un actuador tipo cuarto-de-giro.

Los tipos de válvula rotativa más relevantes son: válvula de bola, válvula de mariposa, válvula tipo plug, válvula esférica.

En la *figura 7.18* se muestran los diferentes tipos de válvulas.

Figura 7.18 Tipos de válvulas

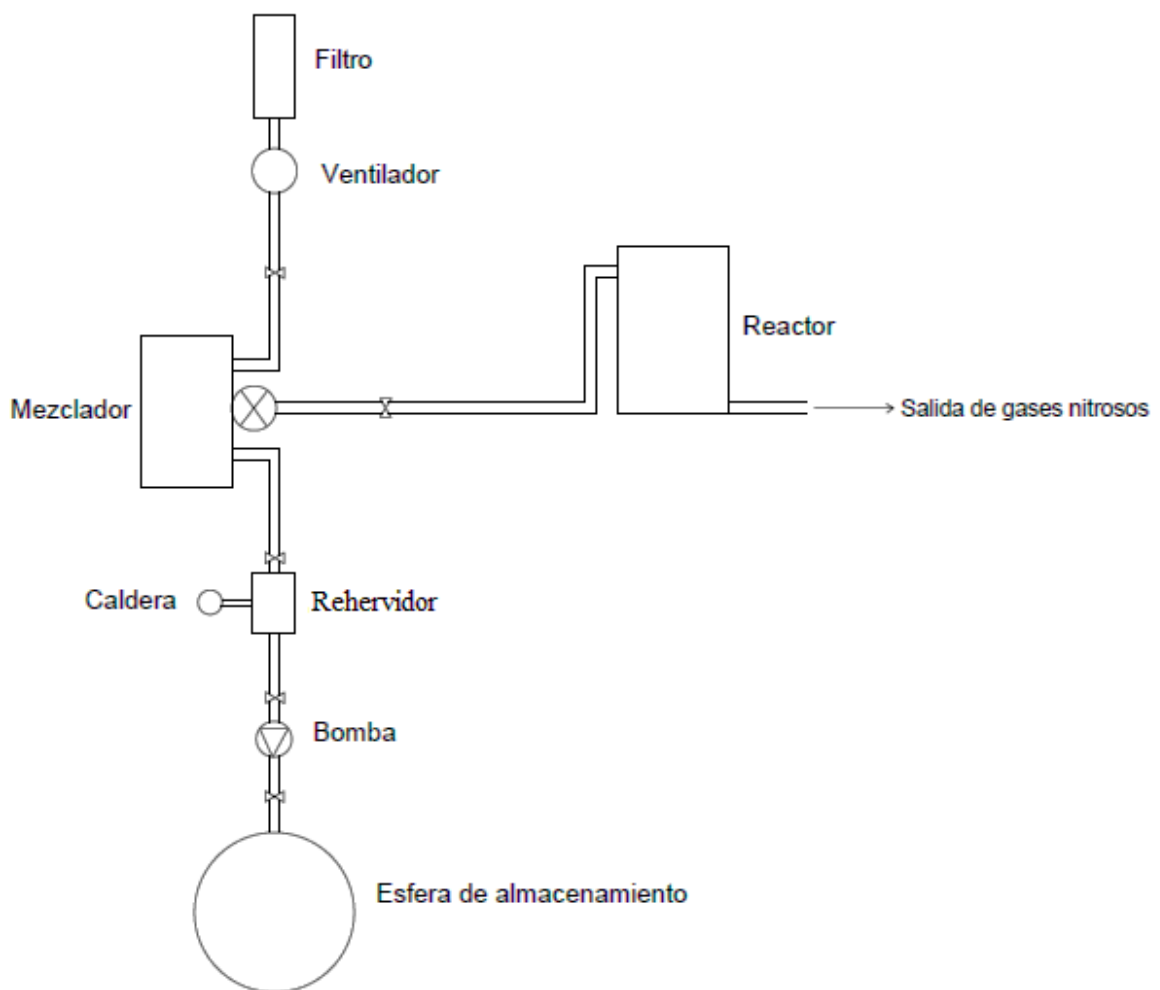


8. RESULTADOS FINALES

Una vez realizado el análisis de soluciones, se procede a la elección del tipo de equipo y/o proceso más adecuado para dicha instalación.

En la *figura 8.1* se muestra un esquema representativo de los componentes de la instalación.

Figura 8.1 Esquema general de los componentes de la instalación



A continuación se describen las características de dichos equipos así como de las conducciones y accesorios de la instalación.

8.1 Filtrado e impulsión del aire

Tal y como se ha comentado en el apartado de *Análisis de soluciones*, la corriente de aire atmosférico debe de ser filtrada para promover la formación de óxido nítrico y reducir la reacción lateral que disminuye el rendimiento.

Tal y como se ha indicado en el apartado de *Requisitos de diseño* el caudal de aire a filtrar es de 12000 kg/h y equivale a 10100 m³/h. Se ha de tener en cuenta que, dicho caudal está medido en condiciones estándar de presión y temperatura (298 K ,1 atm), de la misma forma que los demás caudales volumétricos que aparecerán en este documento.

Debido a que se trata de un caudal elevado y de una sustancia como es el aire atmosférico, que en un ambiente normal no se encuentra con una concentración de partículas de polvo extrema como podrían ser los puntos en la salida de hornos o incineradoras, se elige un filtro de cartuchos para purificar dicha corriente.

El filtro elegido es el modelo PC-8 TS XL el cual permite la purificación del aire para un caudal de 12000 m³/h con un máximo contenido de contaminantes a la salida de 5 mg/m³.

Dicho equipo consta de varias partes entre las que se encuentra:

- Cámara sucia, que constituye la parte central del filtro y está fabricada de acero al carbono de adecuado espesor. Está provista de una pre-cámara de admisión del gas y diseñada para decantar gran cantidad de contaminante.
- Cámara limpia, que constituye la parte superior del filtro y está fabricada de acero al carbono de adecuado espesor. Contiene la parrilla porta cartuchos, la compuerta de inspección y la salida de aire limpio.
- Tolva de descarga, que está fabricada de acero al carbono de 50 litros de capacidad.
- Calderín interno que almacena aire comprimido para la autolimpieza del filtro a contracorriente, provisto de 8 electroválvulas de ¾ de pulgada.
- Programador de limpieza.
- Conjunto de filtración constituido por 8 cartuchos.

El funcionamiento del filtro es el siguiente: el aire pulverulento entra en la tolva del filtro y por efecto de la brusca disminución de la velocidad y de la precámara de choque, las partículas de mayor tamaño caen en la tolva de recolección del filtro. Las partículas más finas suben a través del cuerpo, donde en su interior se encuentran los cartuchos filtrantes; el aire contaminado pasa a través de los cartuchos desde la parte exterior a la interior del mismo, de modo tal que el polvo se deposita externamente, mientras el aire sube y sale depurado.

El progresivo depósito de polvo en la superficie exterior de los cartuchos hace necesaria la limpieza periódica de estos. El disparo de aire comprimido a contracorriente, somete a los cartuchos a un movimiento oscilatorio que posibilita el desprendimiento de las partículas contaminantes. La limpieza se produce por sectores, por medio de electroválvulas a membrana, controladas mediante un programador cíclico que determina los tiempos y las pausas del ciclo de limpieza. Este tipo de limpieza es muy fiable, ya que permite que el filtro, después de un periodo inicial de trabajo, alcance un valor de pérdida de carga, prácticamente, constante a través de su vida operativa.

En la *tabla 8.1* se muestra un resumen con las características del filtro.

Tabla 8.1 Características del filtro de cartuchos elegido.

Características	Descripción
Fluido a tratar	Aire ambiente
Tipo de contaminante	Ambiental
Caudal	12000m ³ /h
Presión	Atmosférica
Aplicación	Depuración de aire
Número de cartuchos filtrantes	8
Superficie filtrante por cartucho	20 m ²
Material filtrante	Micro fibra de celulosa
Máximo contenido de contaminantes a la salida	5 mg/m ³

Una vez el aire atmosférico sale limpio del filtro se pasa a través de una conducción de acero galvanizado de 2,5 m de longitud y 0,5 m de diámetro donde es aspirado e impulsado mediante un ventilador centrífugo hasta el mezclador.

Se elige este tipo de ventilador por dos motivos principales:

1. El fluido a impulsar es gas.
2. Debido a que la presión a la que se aspira el gas (atmosférica) es prácticamente igual a la presión de operación para el mezclado y por tanto sólo se tiene que conducir el aire para asegurarse de que llega al mezclador venciendo las pérdidas de carga de la tubería.

El ventilador centrífugo será capaz de conducir los 12000 kg/h (10100 m³/h) desde la salida del filtro hasta el mezclador venciendo las pérdidas de carga de la tubería y sus correspondientes accesorios. El ventilador centrífugo directo elegido es el modelo ART 561 N4A de F.lli Ferrari diseñado para la conducción de aproximadamente 12000 m³/h con una pérdida de carga de 100-150 mm de columna de agua a la salida del ventilador. Se considera este valor de pérdida de carga al conjunto constituido por filtro, racor de tubería entre filtro y ventilador y ventilador.

Este equipo incluye: silleta soporte de motor-ventilador, contrabridas, puerta de inspección, válvula de salida, tapón de descarga de condensados, motor siemens de 5,5 kW, 2 polos, 400 V, 50 Hz, con grado de eficiencia IE-3.

En la *tabla 8.2* se muestra una tabla resumen de las principales características técnicas del ventilador.

Tabla 8. 2 Características técnicas del ventilador

Características	Descripción
Caudal	12000 m ³ /h
Potencia instalada	15 kW
Giros	2935 r.p.m
Sonoridad	83 dB
Pérdida de carga del equipo	100-150 mm de columna de agua
Rendimiento	71%

En el documento *Anexos* quedan detalladas las fichas técnicas tanto del filtro como del ventilador. Los datos han sido proporcionados por la empresa Ucersa engineering.

8.2 Almacenamiento de amoníaco

El amoníaco líquido se almacenará en una esfera refrigerada a una presión de 4,5 atm y a una temperatura de 0°C.

Para determinar el volumen de almacenamiento se ha considerado el valor requerido para la instalación .Se requieren 1000 kg/h de amoníaco líquido, lo que supone una cantidad mensual de unos 1500 m³. Los datos para la obtención de la capacidad están detallados en el apartado de *Cálculos Justificativos* del documento *Anexos*.

Así pues para el diseño de la esfera se considera de una capacidad para 1500 m³ con una reposición mensual.

Se trata de una esfera de almacenamiento de 14,21 m de diámetro fabricada de acero SA516 Grade 70, suministrada por la empresa Felguera-IHI.

La construcción de dicha esfera en la parcela del proyecto tendrá una duración máxima de aproximadamente 12 meses. El tanque consta de una envolvente esférica reforzada y 8 columnas que la sustentan. Está previsto todo tipo de accesorios como escalera exterior, plataforma superior, barandilla, puesta a tierra... así como un sistema contra incendios.

En la *tabla 8.3* se muestran las características más relevantes del tanque.

Tabla 8.3 Características relevantes de la esfera de almacenamiento

Características	Descripción
Producto contenido	Amoníaco
Estado	Líquido
Temperatura de diseño	0°C
Presión de diseño	4,5 atm
Porcentaje de almacenamiento máximo	98%
Aislamiento	Si
Número de columnas	8
Ignifugado de las columnas	Si

8.3 Rehervidor tipo caldera

Para realizar el diseño del equipo para la evaporación de amoníaco se ha seguido el método de Kern, que permite calcular forma satisfactoria coeficientes individuales de transmisión de calor y la caída de presión.

El equipo elegido es un rehervidor tipo caldera debido a que no presenta gran dificultad a la hora del diseño y además es bastante utilizado para instalaciones que tienen que evaporar amoníaco.

Según las normas TEMA (Thermal Exchanger Manufacturers Association), el intercambiador se define por tres letras que describen, por orden, el tipo de cabezal distribuidor, carcasa y cabezal de salida o retorno.

En este caso se ha elegido el tipo AKU, en donde el cabezal tipo A que es el más utilizado consta de un distribuidor con tapa desmontable para acceso a los tubos para su limpieza y un haz extraíble con cabezales flotantes en el otro extremo, la carcasa K es la utilizada para rehervidores tipo caldera y el cabezal de salida U porque los tubos tienen forma de U.

Siguiendo el método de Kern, el procedimiento que se ha llevado a cabo para el diseño del rehervidor ha sido el siguiente:

1. Definir las necesidades y especificaciones que se requieren para evaporar amoníaco.
2. Definir las propiedades físicas de los fluidos, amoníaco y vapor de agua.
3. Realizar el balance de energía para calcular el calor transferido así como el caudal de vapor de agua necesario para la evaporación del amoníaco.
4. Asumir un valor del coeficiente global de transmisión de calor, U_{supuesto} .
5. Determinar el área de intercambio de calor.
6. Decidir tipo de evaporador. Tamaño, material y disposición de los tubos. Asignar fluidos a los tubos y a la coraza.
7. Calcular el número de tubos.
8. Calcular el diámetro de la coraza.
9. Calcular los coeficientes individuales de transmisión de calor, h .
10. Calcular el coeficiente global de transmisión de calor incluyendo los factores de ensuciamiento, $U_{\text{calculado}}$.
11. Comprobar si U_{supuesto} es prácticamente igual a $U_{\text{calculado}}$ y si no es así continuar con un proceso iterativo hasta que se verifique esta igualdad.
12. Calcular la pérdida de presión en los tubos y en la coraza.

En la *tabla 8.4* se muestran las características de los fluidos y en la *tabla 8.5* todas las características del rehervidor.

Tabla 8.4 Características de los fluidos

Características de los fluidos	Descripción
Presión del amoníaco	4,5 atm
Temperatura de entrada del amoníaco	0 °C
Temperatura de salida del amoníaco	2 °C
Presión vapor de agua	2,0 atm
Temperatura vapor de agua	Temperatura de saturación

Tabla 8.5 Características del tipo de rehervidor.

Características	Descripción
Tipo	Caldera
Según las normas TEMA	AKU
Clase de estándar mecánico	Tipo B
Fluido interior tubos	Vapor de agua
Fluido interior coraza	Amoníaco líquido
Disposición de los tubos	Cuadrada
Número de pasos en los tubos	2
Número de pasos en la coraza	1
Material tubos	Níquel soldado

En la *tabla 8.6* se muestran los resultados obtenidos en el cálculo realizado aplicando el método de Kern.

Tabla 8.6 Resultados obtenidos en el diseño del rehervidor

Características	Valor
Velocidad de transmisión de calor , q	354916,670 J/s
Caudal vapor de agua , m	609,370 kg/h
U supuesto	1000 W/m ² K
Área de intercambio de calor	3,160 m ²
Diámetro externo tubo	19,050 mm
Espesor Tubo	1,250 mm
Diámetro interno tubo	16,570 mm

Longitud real del tubo	4,880m
Espesor placa de tubos	0,025m
Longitud del tubo	4,830
Distancia entre tubos	28,570 mm
Número de tubos	12
Diámetro haz de tubos	280mm
Diámetro interno coraza	560mm
Sección libre de paso	260 mm
Distancia entre deflectores	224mm
Corte del deflector	0,250
Área máxima perpendicular al flujo del fluido líquido en la zona de flujo cruzado.	0,041 m ²
Diámetro equivalente	0,028 m
Gasto másico en el lado de la coraza (amoniaco)	6,770 kg/s·m ²
Gasto másico en el lado de los tubos (vapor de agua)	129,840 kg/s·m ²

En la *tabla 8.7* se muestran los coeficientes individuales y el coeficiente global de transmisión de calor así como la pérdida de presión en el lado de los tubos y de la coraza.

Tabla 8.7 Pérdida de presión en los tubos y en la coraza

Características	Valor
Coefficiente individual de transmisión de calor para los tubos	8000 W/m ² °C
Coefficiente individual de transmisión de calor en la coraza	10478,26 W/m ² °C
Coefficiente global de transmisión de calor calculado	1448,21W/m ² K
Pérdida presión coraza	0,00072 atm
Pérdida presión tubos	0,87 atm

Todos los cálculos realizados se encuentran explicados detalladamente en el apartado *Cálculos Justificativos* del documento *Anexos*.

Una vez realizado el diseño se procede a la búsqueda de un evaporador del tipo rehervidor con caldera que pueda ser capaz de evaporar un caudal de 1000 kg/h de amoníaco y se elige al modelo A640S de la empresa Algas SDI.

Este equipo cuenta con una capacidad de evaporación de amoníaco de 1230 kg/h con un área de intercambio de calor de 2.9 m². Está hecho de materiales resistentes a la corrosión como es el aluminio y los tubos de acero inoxidable. Su funcionamiento es el siguiente: el amoníaco entra en la coraza y se pone en contacto con el haz de tubos. El calor del vapor de agua vaporiza el amoníaco y este a su vez se condensa.

Para la corriente de vapor de agua se requiere de una caldera de agua que estará en circuito cerrado con el rehervidor, es decir, el vapor de agua que condensa en el rehervidor será enviado a la caldera donde se evaporará y retornará al rehervidor. Las características de este equipo se detallan a continuación.

8.4 Caldera

Para la corriente de vapor de agua necesaria para evaporar el amoníaco se requiere de una caldera de agua que estará en circuito cerrado con el rehervidor.

El requisito para la elección de la caldera es que tiene que producir un caudal de vapor de 609,37 kg/h. Para ello se elige el modelo E40 fabricado por Clayton Inovate Steam Sistem Solutions que tiene la capacidad de vaporizar 626 kg/h de vapor de agua y requiere una potencia de 392 kW.

Esta caldera es acuotubular, de circulación forzada, construida bajo los estrictos estándares internacionales y con materiales de alta calidad. Esta unidad puede utilizar como combustible gas natural, gasóleo, fuel oíl o una combinación de todos.

8.5 Mezclador

Tal y como se ha comentado anteriormente el mezclado es una operación muy importante para disminuir la reacción paralela y aumentar el rendimiento de la reacción principal para la obtención de óxido nítrico.

Se requiere la mezcla de la corriente de amoníaco gas de 1000kg/h y otra corriente de aire atmosférico de 12000kg/h que debe de ser mezclada para obtener un producto lo más homogéneo posible.

Debido al gran caudal que se necesita mezclar y a que el amoníaco gas podría dar problemas de corrosión, no se ha encontrado ningún mezclador comercial estándar para este proceso. Para ello se debería hacer un diseño especial por una empresa que por su carácter tan específico y por tratarse de un proyecto docente no ha sido posible conseguir.

Como aproximación se elegirá el modelo MM-2G suministrado por WITGASS con una potencia de 92 kW y se supondrá que es capaz de mezclar las dos corrientes, de aire y amoníaco, de forma homogénea a una presión de 1,1 atm, presión usual para el mezclado de gases que van a entrar en un reactor.

8.6 Reactor catalítico de lecho fijo

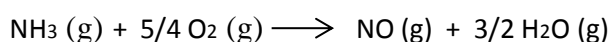
El reactor es la unidad más importante de la instalación dado que permite obtener el producto deseado: los gases nitrosos.

Para la oxidación de amoníaco con aire se utiliza un reactor catalítico de lecho fijo, en el que la proporción NH₃ en aire es de un 10% y se lleva a cabo haciendo pasar la corriente de mezclado a través de una malla fina catalítica constituida por platino con un 10% de rodio, empleando de 10 a 30 etapas de mallas catalíticas, con una presión de operación de 7 atm.

A continuación se expone con cierto detalle algunos aspectos de la termodinámica y la cinética de las reacciones que tienen lugar en el proceso.

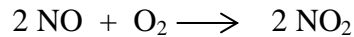
❖ Termodinámica

La reacción principal de oxidación es exotérmica, no está limitada por el equilibrio y responde al esquema:

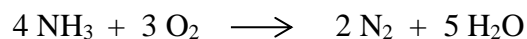


Además de la ecuación anterior, son termodinámicamente posibles otras dos:

- Una reacción consecutiva que da lugar a NO₂:



- Una reacción paralela que da lugar a N₂ y H₂O:



En esta última reacción sólo se produce agua y nitrógeno y por tanto disminuye el rendimiento.

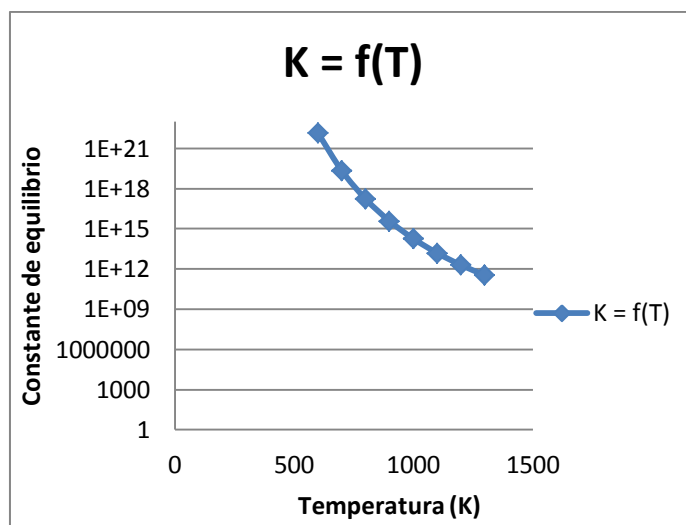
Así pues, la selección del catalizador y condiciones de operación adecuados permiten favorecer la formación de NO y por tanto la de NO₂, obteniendo una proporción NO/NO₂ de 55/45% en volumen. Además, para reducir la reacción lateral de formación de nitrógeno y conseguir el rendimiento óptimo es conveniente adoptar una serie de medidas como:

- Filtrar el aire.
- Mezclar cuidadosamente el aire y el amoníaco.
- Mantener las mallas del catalizador, siempre limpias y libres de impurezas.

La constante de equilibrio de la reacción principal a diversas temperaturas, sigue la siguiente expresión:

$$\ln K = \frac{27200}{T} + 5,63 ; \text{ donde } T \text{ es la temperatura en (K).}$$

En la *figura 8.2* se muestra la representación de la curva de equilibrio de la reacción principal en función de la temperatura.

Figura 8.2 Representación de la curva de equilibrio

❖ Cinética

A pesar de los numerosos estudios relacionados con la oxidación catalítica del amoníaco a óxido de nitrógeno que se encuentran en la bibliografía, no hay ninguna ley cinética que describa de forma adecuada la velocidad de reacción.

A altas temperaturas, la velocidad de oxidación de amoníaco se ve limitada por la velocidad de difusión del amoníaco en el catalizador.

Teniendo en cuenta estas dos consideraciones previas, en la bibliografía se encuentra que para estimar el rendimiento de la reacción se suelen utilizar expresiones empíricas con coeficientes numéricos obtenidos a partir de datos experimentales.

Para llevar a cabo el diseño del reactor se realiza un balance de materia y energía con el objetivo de calcular el número de mallas de catalizador necesarias.

En primer lugar se realiza un balance de energía al reactor suponiendo comportamiento adiabático pudiendo así obtener la temperatura de los gases a la salida del reactor.

En segundo lugar, la ecuación empírica de Rase (balance de materia) que relaciona el grado de conversión en reactores adiabáticos con el número de mallas y con las propiedades intrínsecas del catalizador permite calcular el número de mallas necesario.

En la *tabla 8.9* se muestran los resultados obtenidos al realizar los balances correspondientes y en la *tabla 8.8* las características intrínsecas del catalizador.

Tabla 8.8 Valores de las temperaturas de entrada y salida.

Características	Valores
Temperatura de los gases a la entrada	293,98 K
Temperatura de los gases a la salida	1204,90 K

Tabla 8.9 Características del catalizador

Características	Valores
X , grado de conversión previamente fijado	0,9973
d_w , diámetro de los hilos del catalizador (espesor de la malla)	0,0078 cm
f_w , relación entre el área del alambre y el área de la sección transversal de la malla	1,90
Y_A , fracción molar del amoniaco en la mezcla	0,0760
T , Temperatura a la salida del reactor.	1204,90 K
μ_f , viscosidad de la mezcla a la salida del reactor	$47,68 \cdot 10^{-4} (\text{gr}/\text{cm} \cdot \text{s})$
ε_w , porosidad del lecho catalítico	0.8090
G , gasto másico a la salida del reactor	$0,2733 \text{g}/\text{s} \cdot \text{cm}^2$

En consecuencia, considerando la ecuación de Rase, son necesarias 12 mallas de catalizador de Pt (10% de Rh).

Estas mallas tendrán cada una un espesor de 0.0078 cm, forma circular y un diámetro de 2 metros .Estarán dispuestas en el reactor de forma consecutiva con una separación de 65 cm, por lo que el valor de la altura del reactor será de 8,54 m aproximadamente.

En la *tabla 8.10* se muestra un resumen de las características del reactor diseñado así como su volumen.

Tabla 8.10 Características de diseño del reactor

Características	Valores
Espesor malla	0.0078 cm
Espaciado entre mallas	65 cm
Diámetro del reactor	2m
Volumen del Reactor	27 m ³ ≈27000 litros
Presión de operación	7 atm

Una vez calculado el volumen del reactor se procede al cálculo de la pérdida de carga del fluido de reacción en el reactor catalítico de lecho fijo. Mediante la ecuación de Ergun se obtiene un valor de 0,2529 atm/m.

Los cálculos de los balances de energía y materia y del volumen del reactor y la pérdida de carga se encuentran detallados en el apartado de *Cálculos Justificativos* del documento *Anexos*.

Una vez realizados los cálculos para el diseño del reactor y las mallas catalíticas se procede a la elección del equipo y del catalizador necesario.

Se ha seleccionado un reactor de LAMPE , LUTZ & CIA , con capacidades entre 10 hasta 50000 litros ,cuyo material de construcción puede ser acero inoxidable , níquel y sus aleaciones.

Es un recipiente encamisado para ser más resistentes a las altas temperaturas y a la corrosión. Permite una presión de trabajo hasta 30 bares y aislamiento térmico según los requerimientos del proceso.

Las mallas catalíticas son de Rodio en un 10%(en masa) depositado sobre platino con un diámetro de hilo de 0.0078 cm suministradas por la empresa PM Groupusa. Este tipo de mallas están preparadas para soportar altas presiones y temperaturas de operación a la vez que son muy resistentes a la deformación y ruptura para incrementar los porcentajes de rendimiento.

8.6.1 Tratamiento de las mallas catalíticas

Uno de los aspectos más importantes para un buen funcionamiento del reactor es el mantenimiento y tratamiento de las mallas catalíticas. Para ello se han de tener en cuenta dos factores:

- Se debe observar por las mirillas del reactor el color de las mallas, ya que si la combustión es normal presentan color rosado, en cambio cuando el porcentaje de amoníaco en la mezcla es mayor al recomendado presentan un color blanquecino.
- Si aparecen manchas negras, es debido a que las mallas en esa zona están envenenadas por impurezas que arrastran la mezcla amoníaco-aire y, si estas son abundantes o de gran tamaño, será necesario parar la unidad para limpiar los filtros y reactivar las mallas.

Si no se presenta ninguna de estas anomalías, cuando se hayan tratado unas 3000 toneladas de amoníaco, se deberá parar la instalación para cambiar alguna malla y regenerar el resto.

8.7 Conducciones y accesorios

El diseño de las conducciones se realiza por tramos para facilitar los cálculos y la comprensión.

8.7.1 Tramo 1

El primer tramo de la instalación es aquel que va desde la esfera de almacenamiento al rehervidor mediante una conducción por la que circula amoníaco líquido. En la *tabla 8.11* se muestran las características de la conducción.

Tabla 8.11 Características de la conducción del tramo 1

Características	Descripción
Longitud total de la tubería	15 m
Material de la tubería	Acero comercial, para que sea resistente a la corrosión.
Diámetro	0,1 m
Velocidad de circulación del amoníaco	0,055 m/s
Temperatura	0 °C
Bombas , válvulas y accesorios de la tubería	Bomba centrífuga, 1 unidad Válvula diafragma abierta, 2 unidades Entrada encañonada, 1 unidad Salida encañonada, 1 unidad

Para la elección de la bomba se calcula la potencia de esta con el objetivo que sea capaz de impulsar la corriente desde la esfera hasta el rehervidor.

El proceso para el cálculo de la potencia en el que se ha tenido que calcular la carga total del sistema está detallado en el apartado de *Cálculos Justificativos* del documento *Anexos*. En la *tabla 8.12* se muestran los valores obtenidos.

Tabla 8.12 Valores obtenidos para el cálculo de la potencia.

Características	Valor
Caudal de amoníaco a conducir	1000 kg/h
Carga total del sistema	0,00348 m
Rendimiento de la bomba	0,6
Potencia real	0,015 W

Se elige una bomba centrífuga de T-Mag Pumps modelo TM1C, para la conducción de amoníaco con una potencia de 0,06 watts resistente a la corrosión y la abrasión.

8.7.2 Tramo 2

El segundo tramo es el que va desde el rehervidor al mezclador de gases. Conducción por la que circula amoniaco gas desde una presión inicial del tramo de 4,5 atm a una presión final del tramo de 1,1 atm a la que se realizara el mezclado.

En este tramo no va a ser necesario utilizar un compresor para la impulsión del amoníaco gas ya que la presión en el punto inicial del tramo es mucho mayor que la presión en el tramo final, sin embargo para el diseño de la tubería se tendrá que realizar un balance de energía suponiendo circulación isoterma para calcular la longitud que ha de tener la conducción para que el gas pueda recorrer el tramo venciendo las pérdidas de carga de la tubería y los accesorios correspondientes.

Todos los cálculos realizados para el diseño de este tramo están detallados en el apartado de *Cálculos Justificativos* dentro del documento de *Anexos*.

En la *tabla 8.13* se muestran las características de la tubería diseñada así como el valor obtenido de la longitud de la tubería al realizar el balance de energía.

Tabla 8.13 Características de la conducción del tramo 2

Características	Descripción
Diámetro de la conducción	0,2 m
Material de la conducción	Acero comercial, para que sea resistente a la corrosión.
Fluido que circula	Amoníaco gas
Circulación isoterma (T)	275 K
Caudal volumétrico	0,0819 m ³ /s
Gasto másico	8,8 kg/m ² ·s
Temperatura	275 K
Válvulas y accesorios de la tubería	Válvula mariposa, 1 unidad Codo estándar de 90°, 1 unidad Entrada a tubería, 1 unidad Salida de tubería, 1 unidad
Longitud tramo recto requerida para vencer la pérdida de carga de la tubería	0,13 m
Longitud equivalente de los accesorios requerida para vencer la pérdida de carga de dichos accidentes.	23 m
Longitud total requerida	23m

8.7.3 Tramo 3

El tercer tramo es el que va desde el ventilador centrífugo hasta el mezclador. El ventilador será el equipo encargado de conducir el aire atmosférico desde una presión de 1 atm a la salida de este a una presión de 1,1 atm (presión de mezclado). Las características del ventilador ya han sido detalladas anteriormente, por lo tanto en la *tabla 8.14* se muestran las características del fluido y de la conducción.

Tabla 8.14 Características de la conducción del tramo 3

Características	Descripción
Fluido que circula	Aire atmosférico
Longitud total	10 m
Diámetro	0,5 m
Material	Acero galvanizado
Caudal volumétrico	2,58 m ³ /s
Gasto másico	16,93 kg/m ² ·s
Válvulas y accesorios de la tubería	Válvula de mariposa, 1 unidad Codo de 90° estándar, 1 unidad Entrada a la tubería, 1 unidad Salida de la tubería, 1 unidad

8.7.4 Tramo 4

El tramo 4 es el que va desde la salida del mezclador hasta la entrada del reactor. En este tramo se dispone de un compresor que impulsa la mezcla amoniaco-aire desde el mezclador en el que la presión es de 1,1 atm hasta el reactor en que la presión es de 7 atm. Dicho equipo estará situado justo a la salida del mezclador.

En la *tabla 8.15* se muestra un resumen de las características del fluido y en la *tabla 8.16* las características de la conducción, así como de los accesorios que contiene dicha conducción.

Tabla 8.15 Características del fluido del tramo 4

Características	Descripción
Fluido que circula	Mezcla amoníaco gas /aire
Proporción	92% aire , 8% amoníaco
Densidad de la mezcla	1,44 kg/m ³
Molaridad de la mezcla	27,88 kg/kmol
Viscosidad de la mezcla	1,68·10 ⁻³ kg/(m·s)
Temperatura de la mezcla	293,98 K

Tabla 8.16 Características de la conducción del tramo 4

Características	Descripción
Longitud de la conducción	19 m
Diámetro	0,5 m
Material	Acero comercial
Caudal volumétrico	9030 m ³ /h ≈ 2,5 m ³ /s
Gasto másico	18,33 kg/m ² ·s
Compresor ,Válvulas y accesorios	Compresor,1 Válvula de compuerta abierta,1 Codos de 90° estándar, 2 Salida de la tubería,1

Para el cálculo de la potencia del compresor se ha supuesto circulación isoterma y se ha considerado el compresor a la salida del mezclador en el que el punto de impulsión del compresor coincide con el punto de salida del mezclador. En la *tabla 8.17* se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 8.17 Valores obtenidos para el cálculo de la potencia

Características	Valor
Presión de aspiración	1,1 atm
Presión de impulsión	17,6 atm
Potencia teórica	270 KW
Rendimiento	0.75
Caudal másico de la mezcla	13000 kg/h \approx 3,61 kg/s
Potencia real	1305 KW

De la misma forma que en los otros apartados, todos los cálculos para el diseño de este tramo están detallados en el apartado de *Cálculos Justificativos* en el documento *Anexos*.

Debido al gran caudal de mezcla que se ha de impulsar al reactor se obtiene una potencia del compresor muy grande y por tanto a la hora de la elección del compresor no se ha encontrado ningún tipo de equipo para la mezcla amoníaco gas-aire para este caudal debido a que esta mezcla con ese caudal no es estándar y se tendría que realizar un diseño por parte del fabricante del equipo que no ha sido posible conseguir por tratarse de un proyecto docente.

Como primera aproximación se elige un compresor capaz de la impulsión del caudal requerido como si todo fuera aire. Modelo HX/HN suministrado por Atlas Copco, para la impulsión de un caudal de aire entre 130-15000 m³/h con un rango de presión de impulsión de 1-40 bares y de descarga de 10-100 bares.

8.8 Características de la nave

Este tipo de instalaciones como la propia diseñada suelen estar ubicadas al aire libre. Por tanto se requiere una parcela de unas dimensiones de 55x95 m² donde se han considerado espacios laterales bastante amplios para que cumpla todas las normas de seguridad pertinentes.

La parcela de 300 metros de perímetro cuenta con una puerta de entrada abatible galvanizada de 5 metros de ancho y 2 metros de alto. Los 295 metros restantes están recubiertos con una valla que incluye una malla de simple torsión galvanizada con sus postes intermedios y de refuerzo pertinentes. Tanto la valla como la puerta son suministradas por Vallas Arte.

Se ha de tener en cuenta que esta instalación es solamente una parte de una planta industrial por tanto tendrá que estar adjunta al resto de la planta para que los gases nitrosos obtenidos en el reactor se integren en el flujo del resto de la planta. La ubicación más conveniente de nuestra instalación sería en el grao de Castellón ya que contamos con la empresa UBE que utiliza estos gases para la producción de Caprolactama.

La disposición en planta del presente proyecto ha sido diseñada de forma que las pérdidas de carga en las conducciones sean las mínimas posibles y otro factor muy importante ha sido que el tanque de almacenamiento se encuentre lo más alejado posible del reactor para evitar el riesgo de explosión. También se ha tenido en cuenta que todos los equipos tengan suficiente espacio entre ellos para mantener unas distancias de seguridad ya que algunos equipos desprenden calor pudiéndose alcanzar elevadas temperaturas.

8.9 Consumo de agua, electricidad y combustible

Un factor muy importante en una instalación industrial es el consumo de recursos y sus costes. En la instalación del presente proyecto se consumen tanto agua, como combustibles y electricidad.

- El agua consumida en esta instalación, para generar el vapor necesario para, a su vez, evaporar el amoníaco, requiere un caudal de 610 kg/h de agua. Este caudal de agua estará en circuito cerrado entre el rehervidor y la caldera, de forma que el agua que sale del rehervidor será conducida a la caldera donde será evaporada y seguidamente enviada al rehervidor para evaporar el amoníaco. Se tendrá en cuenta un caudal para reponer las pérdidas de agua en el transcurso del proceso, añadiéndose un 5% al consumo anual.

- El combustible consumido en la instalación se utiliza en la caldera para evaporar el agua que está en circuito cerrado con el rehervidor. Se requiere un consumo de 36 kg/h de gasoil.
- La electricidad consumida alimenta a algunos equipos de la planta como la bomba, el compresor, el ventilador, la caldera y el mezclador.

A continuación se va a mostrar unas tablas resumen tanto del consumo anual de agua y combustible así como del consumo anual de los equipos que funcionan con electricidad. Una consideración a tener en cuenta es que toda la instalación está operando las 24 horas del día durante todos los días del año a excepción de paros por seguridad o mantenimiento.

En la *tabla 8.18* se muestra el consumo de agua anual, en la *tabla 8.19* el consumo de combustible requerido anual y en la *tabla 8.20* los consumos eléctricos de los equipos de la instalación.

Todos los cálculos de consumos que se muestran a continuación están detallados en el apartado de *Cálculos Justificativos* en el documento *Anexos*.

Tabla 8.18 Consumo de agua anual

Proceso	Equipo	Unidades	Consumo (kg/h)	Consumo anual (kg/año)
Vapor de agua para evaporar amoníaco	Circuito cerrado Caldera- Evaporador	1	610	5533920

Tabla 8.19 Consumo de combustible anual

Proceso	Combustible	Equipo	Unidades	Consumo (kg/h)	Consumo anual(kg/año)
Generación de vapor	Gasóleo	Caldera	1	36	315360

Tabla 8.20 Consumos eléctricos de los equipos de la instalación

Proceso	Equipo	Unidades	Potencia unitaria (kW)	Potencia total(kW)
Bombeo del amoniaco al evaporador	Bomba	1	$6 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$
Impulsión de la mezcla de gases al reactor	Compresor	1	1300	1300
Mezclado del amoniaco gas/aire	Mezclador	1	92	92
Generación de vapor	Caldera	1	392	392
Conducción del aire al mezclador	Ventilador	1	15	15

Por tanto se puede establecer una potencia eléctrica necesaria de 1800kW. Una vez conocida la potencia necesaria, se hará un cálculo anual teniendo en cuenta el funcionamiento de 24 horas diarias durante todos los días del año. Dicho cálculo puede ser consultado en el apartado de *Cálculos Justificativos* en los *Anexos*. Se obtiene un consumo eléctrico de 15.768.000 kWh anuales.

9. ESTUDIO ECONÓMICO

En la producción de la caprolactama, producto que proporciona el beneficio y que compensa todos los costes de la instalación total, intervienen numerosos procesos y dentro de ellos una pequeña parte es el diseño mostrado en el presente proyecto. Por tanto es prácticamente imposible conocer la viabilidad de la instalación diseñada ya que esta depende de otros factores desconocidos.

Así pues más que un estudio de viabilidad económica, se va a realizar un análisis de costes donde se tendrán en cuenta tanto la inversión inicial como los costes directos e indirectos.

9.1 Inversión inicial

La inversión inicial es la suma de todos los recursos económicos necesarios para que la planta entre en funcionamiento. Son costes que no varían con los cambios en el nivel de producción de la planta y se producen y se deben pagar aun no habiendo producción o actividad en la planta. Entre otros destacan los costes de adquisición del terreno, los costes de obra civil, los costes por las instalaciones y los costes por la maquinaria.

El precio medio del suelo industrial en Castellón es aproximadamente de 158 €/m². Con este valor se calculará el coste de la parcela para la construcción de la instalación.

En la *tabla 9.1* se muestra el coste de adquisición del terreno.

Tabla 9.1 Costes del terreno

Terreno	
Superficie del terreno (m ²)	5.225
Coste del m ² (€/m ²)	158
Coste total del terreno (€)	825.550

Para el coste de la obra civil se ha de tener en cuenta que la nave en este caso será descubierta debido a que este tipo de instalaciones han de estar al aire libre, tal y como se ha explicado en el documento *Presupuesto*. Por tanto, se tendrá en cuenta el coste del vallado de la parcela y de la puerta para su acceso que queda detallado en la *tabla 9.2*.

Tabla 9.2 Costes de la obra civil

Costes de obra civil	
Superficie total de la planta (m ²)	5.225
Perímetro total de la planta (m)	300
Perímetro de vallado (m)	295
Precio valla (€/m)	22
Coste vallado (€)	6.490
Coste puerta (€)	350
Coste total (€)	6.840

Otro coste que se ha de tener en cuenta para la inversión inicial de la instalación es el precio de los equipos y de las conducciones y accesorios. En la *tabla 9.3* se muestra el coste de los equipos mientras que en la *tabla 9.4* el coste de las conducciones y accesorios.

Tabla 9.3 Costes de los equipos de la instalación

Elemento	Unidades	Precio unitario(€)	Importe (€)
Esfera de almacenamiento	1	2.800.000,00	2.800.000,00
Filtro de cartuchos	1	14.960,00	14.960,00
Ventilador centrífugo	1	3.000,00	3.000,00
Evaporador	1	9.714,28	9.714,28
Mezclador de gases	1	15.466,00	15.466,00
Compresor	1	774.180,95	774.180,95
Bomba centrífuga	1	290,00	290,00
Caldera de producción de vapor de agua.	1	17.000,00	17.000,0
Reactor	1	58.000,00	58.000,00
Mallas platino/rodio	12	5.248,96	6.2987,57
		Total (€)	3.755.598,8

Tabla 9.4 Presupuesto de conducciones y accesorios

Elemento	Unidades	Longitud	Precio unitario(€)	Importe (€)
Accesorios tales como manómetros, controladores de operación	10	-	200,00	200,00
Válvula diafragma, D=0,1 m	2	-	184,44	184,44
Válvula mariposa, D=0,5 m	1	-	1100,10	1.100,0
Válvula mariposa, D=0,2 m	1	-	320,90	320,90
Válvula de compuerta, D=0,5m	1	-	1400,02	1.400,02
Codo 90 ° estándar, acero galvanizado ,D=0,5m	1	-	298,00	298,00
Codo 90 ° estándar, acero comercial ,D=0,2m	1	-	137,81	137,81
Suministro de tubería de acero galvanizado, D=0,5m en unidades de 6,4 m de longitud	5	30 m	10275,9	51.379,5
Suministro de tubería de acero comercial, D=0,1m en unidades de 1m de longitud	10	10 m	818,52	818,52
Suministro de tubería de acero comercial, D=0,2m en unidades de 1 m de longitud	23	23m	2463,18	56.653,14
Racor de tubería de acero galvanizado, D=0,5m en unidades de 2,5 m	1	2,5m	200,00	500,00
			Total (€)	112.992,33

En la *tabla 9.5* se muestra el coste total de los equipos.

Tabla 9.5 Coste total de los equipos

Coste total equipos	
Coste de equipos de la instalación (€)	3.755.598,8
Coste conducciones y accesorios(€)	112.992,33
Coste total (€)	3.868.591,13

Tanto la instalación eléctrica y de red de agua como los materiales y el montaje de los principales equipos son costes que también se deben tener en cuenta. Estos costes se pueden calcular empleando estimaciones facilitadas por el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de la Comunidad Valenciana (IICV).

Tal y como se ha descrito detalladamente en el documento *Presupuesto*, para el cálculo de los costes en mano de obra se establece un 15% del precio de los equipos principales.

Para la instalación de red eléctrica de los equipos se establecen por el IICV una serie de intervalos en función de la potencia instalada mientras que para la instalación de red de agua se establece una estimación en función de los m² de la nave.

Debido a que se trabaja las 24 horas del día se requiere de una instalación de alumbrado en la parcela, para ello se establece también una estimación en función de los m³ de la nave.

A continuación se muestra varias tablas con los elementos anteriormente citados y sus correspondientes costes. En la *tabla 9.6* se muestran los costes de mano de obra.

Tabla 9.6 Costes de mano de obra

Equipo	Unidades	Precio Unitario(€)	Importe (€)
Reactor	1	58.000,00	58.000,00
Evaporador	1	9.714,28	9.714,28
Filtro de cartuchos	1	11.460,00	11.460,00
Mezclador	1	15.466,00	15.466,00
Suma del precio de los equipos (€)			94.640,28
15% del precio de los equipos(€)			14.196,04

En la *tabla 9.7* se muestran los costes de la instalación eléctrica para los equipos.

Tabla 9.7 Costes de instalación eléctrica

Coste instalación eléctrica	
Potencia instalada (kW)	1.800,00
Coste electricidad (€/W)	0,25
Coste instalación eléctrica (€)	450.000,00

En la *tabla 9.8* se muestran los costes de instalación de red de agua.

Tabla 9.8 Costes de instalación red de agua

Coste instalación red de agua	
Superficie de la parcela (m ²)	5.225
Coste por m ² (€/m ²)	6
Coste instalación red de agua (€)	31.350

En la *tabla 9.9* se muestran los costes de instalación eléctrica de alumbrado.

Tabla 9.9 Costes de instalación eléctrica de alumbrado

Coste instalación eléctrica de alumbrado	
Superficie de la parcela (m ²)	5.225
Coste por m ² (€/m ²)	12
Coste instalación eléctrica de alumbrado (€)	62.700

En la *tabla 9.10* se muestra el coste total de instalaciones materiales y montaje.

Tabla 9.10 Coste total de instalaciones, materiales y montaje

Presupuesto total de instalaciones, materiales y montaje	
Coste de la mano de obra (€)	14.196,04
Coste de la instalación eléctrica de equipos (€)	450.000,00
Coste de la instalación de red de agua	31.350,00
Coste de la instalación eléctrica de alumbrado	62.700,00
Coste total de instalaciones , materiales y montaje (€)	558.246,04

A continuación en la *tabla 9.11* se recoge la inversión total inicial.

Tabla 9.11 Inversión inicial

Inversión inicial	
Terreno (€)	825.550,00
Coste de obra civil (€)	6.840,00
Coste de equipos, conducciones y accesorios(€)	3.868.591,13
Coste instalaciones, materiales y montaje(€)	558.246,04
Inversión total(€)	5.259.227,17

Tal y como se observa en la *tabla 9.11* el valor de la inversión inicial asciende a **5.259.227,17€**.

9.2 Gastos directos

Los gastos directos son los que se incorporan directamente sobre el producto, siendo proporcionales a las cantidades fabricadas. Entre estos costes se encuentran la materia prima, el consumo de agua, el consumo de combustible, el consumo de electricidad y los costes de reponer las mallas.

9.2.1 Costes de materia prima

La materia prima que se utiliza en esta instalación es aire y amoníaco. El aire se obtiene directamente de la atmósfera. El coste del amoníaco líquido depende del consumo anual de este.

En el apartado *Cálculos Justificativos* de documento Anexos, se ha calculado dicho coste teniendo en cuenta que se utilizan 1000 kg/h y que la planta está en funcionamiento las 24 horas del día durante todo el año. En la *tabla 9.12* se muestra el mencionado coste.

Tabla 9.12 Coste de amoníaco líquido.

Coste amoníaco líquido	
Consumo anual de amoníaco (kg/año)	8.760.000
Consumo anual de amoníaco (T/año)	8.760
Precio amoníaco (€/T)	506,94
Coste amoníaco líquido anual (€/año)	4.440.794,4

9.2.2 Costes de electricidad

El coste de electricidad depende del consumo eléctrico de los equipos. Se realiza una estimación teniendo en cuenta el consumo anual de electricidad calculado en el apartado *Resultados Finales*. En la *tabla 9.13* se muestran los costes de electricidad.

Tabla 9.13 Costes de electricidad

Costes de electricidad	
Consumo anual de electricidad (kWh/año)	15.768.000
Precio energía eléctrica (€/kWh)	0,13
Coste anual de electricidad (€/ año)	2.049.840

9.2.3 Costes de agua

El consumo de agua de la instalación viene dado por la caldera. El agua que es evaporada en dicho equipo está en circuito cerrado con el evaporador y es la encargada de evaporar el amoníaco líquido. El consumo anual de agua (detallado en el capítulo *Anexos*) así como su coste, se muestran en la *tabla 9.14*.

Tabla 9.14 Costes de agua

Costes de agua	
Consumo anual de agua (kg/año)	5.533.920,00
Consumo anual de agua (l/año)	5.533.920,00
Precio agua (€/l)	1,56
Coste anual de agua (€/año)	8.632.915,20

9.2.4 Costes de combustible

El consumo del combustible, en este caso gasóleo, viene dado por la cantidad que necesita la caldera para poder evaporar el agua. En la *tabla 9.13* se muestra el consumo y coste anual de gasóleo teniendo en cuenta que el precio gasóleo en España actualmente es de 0.6 €/l. En la *tabla 9.15* se muestran los costes del combustible.

Tabla 9.15 Costes de combustible

Costes de combustible	
Consumo anual de gasóleo (kg/año)	315.360,00
Consumo anual de gasóleo (l/año)	379.038,46
Precio gasóleo (€/l)	0,60
Coste anual de gasóleo (€)	228.181,15

9.2.5 Costes de regenerar y reponer las mallas de platino/rodio

Tal y como se ha comentado en el apartado de *Resultados Finales*, cuando se han tratado 3000 toneladas de amoníaco se debe cambiar alguna malla y regenerar el resto.

En el apartado *Cálculos Justificativos* del apartado *Anexos* se realiza el cálculo del amoníaco consumido anualmente y se obtiene un valor de 8.760 toneladas. Por tanto, se deberá parar la instalación para cambiar alguna malla y regenerar el resto como mínimo dos veces al año.

En la *tabla 9.16* se muestran una estimación de los costes suponiendo que se cambian tres mallas y se regeneran el resto dos veces al año. Se establece que el coste de regenerar una malla es la cuarta parte del coste de cambiar una malla.

Tabla 9.16 Coste anual de reponer y regenerar mallas

Costes de reponer y regenerar mallas	
Coste malla(€/malla)	5.248,96
Coste regenerar malla(€/malla)	1.312,24
Coste cambio(3 mallas) + regenerar(9 mallas): 1 vez/año	27.557,04
Coste cambio(3 mallas) + regenerar(9 mallas): 2 veces/año	55.114,08

Así pues, el valor de los costes directos anuales asciende a **15.406.844,83 €/año**.

9.3 Gastos indirectos

Los gastos indirectos son aquellos que no se adjudican al producto pero son necesarios para la producción. Su cantidad, dentro de ciertos límites, no depende de la cantidad producida. Son gastos indirectos los trabajadores de la planta y de mantenimiento, el personal de limpieza y el alumbrado.

9.3.1 Costes de personal y limpieza

La instalación diseñada contará con un total de 18 operarios. Se trabajará de Lunes a viernes con tres turnos de 8 horas: mañana, tarde y noche (en cada turno 3 operarios). Los nueve restantes trabajaran Sábados y Domingos de la misma forma, mañana, tarde y noche (cada turno tres personas).

Así pues, en cada turno y durante los 7 días de la semana se contará con 3 operarios:

- Un operario se encargara del mantenimiento y reparación de los equipos.
- Un operario que desde la sala de control de la planta completa de Caprolactama, controlará la instalación diseñada en el presente proyecto.
- Un Jefe de planta que dará instrucción a los operarios y será el nexo de unión entre la sala de control y el operario.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que todos estos operarios no estarán solo al cuidado de la instalación diseñada en este proyecto sino que también estarán presentes en otros de los procesos que conlleva la producción de la Caprolactama. Por tanto se considerara el coste de personal como el 25% del salario total de los trabajadores.

La *tabla 9.17* muestra los salarios anuales incluyendo pagas extra y la seguridad social.

Tabla 9.17 Costes de personal

Personal	Unidades	Salario(€/año)	Seguridad Social(€/año)	Coste (€/año)
Jefe de planta	6	20.000	6.200	157.200
Operario	12	18.000	5.580	282.960
Salario total				440.160
25% del salario total				110.040

Los costes de limpieza y mantenimiento se muestran en la *tabla 9.18*.

Tabla 9.18 Costes de limpieza y mantenimiento

Costes limpieza y mantenimiento	
Limpieza (€/año)	15.000
Mantenimiento preventivo. Dos visitas anuales previstas (€/año)	1.500
Total(€/año)	16.500

9.3.2 Costes de alumbrado

Debido a que la instalación diseñada está en funcionamiento las 24 horas del día se requiere un consumo del alumbrado durante la noche. En la *tabla 9.19* se muestra el coste de este servicio.

Tabla 9.19 Costes de alumbrado

Coste alumbrado	
Consumo de alumbrado durante la noche (kWh/año)	17.000
Precio energía eléctrica (€/kWh)	0,13
Coste alumbrado (€/año)	2.210

El valor de los costes indirectos asciende a 128.750(€/año).

A continuación en la *tabla 9.20* se muestra el valor de los costes directos e indirectos anuales así como su totalidad.

Tabla 9.20 Costes directos e indirectos

Costes directos e indirectos	
Costes directos (€/año)	15.406.844,83
Costes indirectos(€/año)	128.750,00
Costes totales(€/año)	16.694.344,83

Así pues, el valor de los costes anuales asciende a **16.694.344,83 €/año**.

10. PLANIFICACIÓN

El objetivo principal de la planificación es conseguir finalizar un proyecto en el tiempo requerido con los recursos disponibles.










La planificación permite tener una visión anticipada de cómo se llevará a término un proyecto, cuándo serán las actividades más complicadas, cuándo acabará, etc.

Para ello hay que tener en cuenta:

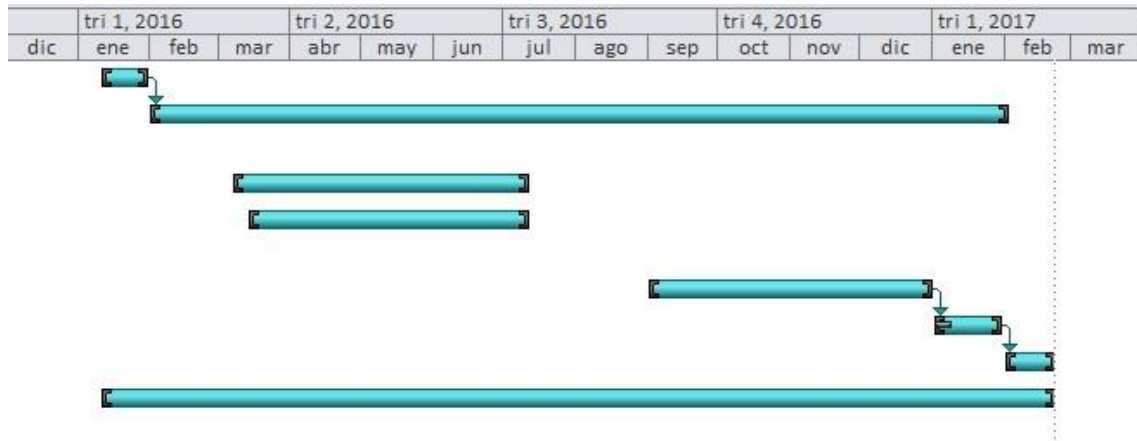
- Las fases y tareas que se van a realizar.
- Duración estimada de las tareas.
- Las relaciones entre las tareas y cómo se vinculan con fechas determinadas.
- Las interrelaciones mediante la creación de dependencias entre las tareas.

A continuación, en las *figuras 10.1* y *10.2* se muestra la planificación de este proyecto realizada con el programa MICROSOFT PROJECT 2010.

Figura 10.1

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesora
1			Adecuación del terreno	16 días	lun 11/01/16	sáb 30/01/16	
2			Montaje en campo de equipos y tanque	264 días	lun 01/02/16	jue 02/02/17	1
3			Equipamiento	91 días	lun 07/03/16	lun 11/07/16	
4			Equipamiento electromecánico	86 días	lun 14/03/16	lun 11/07/16	
5			Equipos eléctricos	88 días	jue 01/09/16	sáb 31/12/16	
6			Automatización	21 días	lun 02/01/17	lun 30/01/17	5
7			Pruebas	16 días	mié 01/02/17	mié 22/02/17	6
8			Seguridad y salud	293 días	lun 11/01/16	mié 22/02/17	

Diseño del proceso de oxidación de amoníaco líquido para la producción de caprolactama



Se estima un plazo que empieza el 11/01/16 y termina el 22/02/17 ,por tanto una duración de 293 días de los cuales son hábiles 279.

Para ello se ha tenido en cuenta el Calendario Laboral 2015 , suponiendo unos turnos de trabajo de 8 horas al día de Lunes a Viernes. Además para ajustarse lo mejor posible a la realidad se tienen en cuenta la posibilidad de horas perdidas debido a los días de climatología adversa.

También se tiene que tener presente que esta planificación es teórica ya que a pesar de tener en cuenta el Calendario Laboral y las condiciones metereológicas , siempre hay factores que no se pueden controlar ni prever a largo plazo.

11. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

Según lo establecido por la norma Española: UNE 157001-Febrero 2002, se requiere el siguiente orden de prioridad entre los documentos básicos:

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

3. Anexos

Índice

1. DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA	2
2. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	3
2.1 Diseño del reactor.....	3
2.2 Diseño del rehervidor	9
2.3 Diseño de las conducciones	22
2.4 Capacidad de la esfera de almacenamiento.....	36
2.5 Consumo de agua, combustible y electricidad	36
2.6 Consumo de amoníaco anual	37
3. CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS.....	38
3.1 Esfera de almacenamiento	38
3.2 Filtro de cartuchos	39
3.3 Ventilador centrífugo.....	40
3.4 Compresor.....	42
3.5 Bomba centrífuga	43
3.6 Mallas Platino/Rodio	44
3.7 Caldera de vapor.....	46
3.8 Reactor	47
3.9 Rehervidor.....	48
3.10 Ficha de seguridad del amoníaco	49

1. DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA

Para el diseño de la instalación se han fijado previamente los caudales iniciales de amoníaco y agua en la corriente alimento del reactor así como la producción de gases nitrosos. A continuación se muestran de nuevo las *tablas 1.1* y *1.2* ya descritas en el documento *Memoria*, donde se detallan los valores de los caudales así como las características del reactor.

Tabla 1.1 Caudales de partida para el diseño de la instalación

Caudales de Entrada al reactor	Caudales de Salida del reactor
$m_{\text{NH}_3} = 1000\text{kg/h}$ $m_{\text{Aire}} = 12000\text{kg/h}$	$m_{\text{NO/NO}_2} = 30916\text{kg/h}$

Tabla 1.2 Características de partida del reactor y de la reacción

Características del reactor	
Tipo	Reactor catalítico de lecho fijo
Reacción	$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$
Termodinámica	Exotérmica, $\Delta H = -226\text{kJ/mol}$
Grado de conversión, X	0.9973
Diámetro del reactor, D(m)	2

2. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

2.1 Diseño del reactor

Para el diseño del reactor se plantea el balance de materia y el balance de energía, que permitirán obtener el número de mallas del catalizador necesarias. Seguidamente se calculará el volumen del reactor y la pérdida de carga de dicho equipo.

En la *tabla 2.1* se recogen algunas características del reactor que se va a diseñar y de la reacción de oxidación que tendrá lugar. En la *tabla 2.2* se muestran algunas características y propiedades de la corriente que se alimentará al reactor, algunos parámetros del reactor y el caudal y grado de conversión de la corriente de producto a la salida del reactor.

Tabla 2.1 Características del reactor y de la reacción.

Reactor	
Tipo	Reactor catalítico de lecho fijo , adiabático
Nº reacciones: 1	$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$
Fase	gas
Termodinámica	Exotérmica , $\Delta H = -226\text{kJ/mol}$

Tabla 2.2 Datos de partida para el reactor.

Entrada	Reactor	Salida
$m_{\text{NH}_3} = 1000\text{kg/h}$ $m_{\text{Aire}} = 12000\text{kg/h}$ $T_{\text{NH}_3} = 275\text{ K}$ $T_{\text{Aire}} = 298\text{K}$ $c_{p\text{NH}_3} = 2,55(\text{kJ/kg K})$ $c_{p\text{Aire}} = 1,006(\text{kJ/kg K})$	$D=2\text{ m}$ $P=7\text{ atm}$	$X=0,9973$ $m_{\text{NO}/\text{NO}_2} = 30916\text{kg/h}$

❖ BALANCE DE ENERGIA AL REACTOR

El balance de energía de un reactor adiabático puede expresarse como:

$$T - T_0 - J \cdot X = 0$$

A continuación se detalla el cálculo del parámetro J así como el de la temperatura media de la mezcla alimento a la entrada en el reactor:

$$J = \frac{-\Delta H_K}{\sum \theta_j \cdot c_p}$$

$$\sum \theta_j \cdot c_p = \frac{F_{10}}{F_{10}} \cdot c_{p1} + \frac{F_{20}}{F_{10}} \cdot c_{p2}$$

$$F_{10} = F_{NH_3} = \frac{1000 \text{ kg}}{h} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{17 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,01633 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$F_{20} = F_{Aire} = \frac{12000 \text{ kg}}{h} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{28,97 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,11506 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$c_{p1} = c_{pNH_3} = \frac{2,55 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \frac{17 \text{ kg}}{1 \text{ kmol}} = 43,35 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

$$c_{p2} = c_{pAire} = \frac{1,0006 \text{ kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \frac{28,97 \text{ kg}}{1 \text{ kmol}} = 28,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

$$\sum \theta_j \cdot c_p = 1 \cdot 43,35 + \frac{0,11506}{0,016339} \cdot 28,98 = 247,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

$$J = \frac{-\Delta H_K}{\sum \theta_j \cdot c_p} = \frac{-(-226000) \frac{kJ}{kmol}}{247,42 \frac{kJ}{kmol \cdot K}} = 913,39K$$

Para el cálculo de la temperatura media a la entrada del reactor se realiza un balance de energía al proceso de mezcla del aire y amoníaco en el que se cumple que el calor que pierde el aire es el mismo que el que gana el amoníaco:

$$Q_{Aire} = Q_{NH_3}$$

$$m_{aire} \cdot c_p \cdot (25 - T_1) = m_{NH_3} \cdot c_p \cdot (T_1 - 2)$$

$$12000 \cdot 1,006 \cdot (25 - T_1) = 1000 \cdot 2,55 \cdot (T_1 - 2)$$

$$T_{entrada\ al\ reactor} = 20,98^\circ C = 293,98K$$

Sustituyendo los parámetros calculados en el balance de energía se puede calcular la temperatura de salida de los gases en el reactor como:

$$T - T_0 - J \cdot X = 0$$

$$T - T_0 - J \cdot X = 293,98 + 913,39 \cdot 0,9973$$

$$T = 1204,90 K = 931,9^\circ C$$

❖ BALANCE DE MATERIA

Para realizar el balance de materia se utiliza la ecuación de Rase, una ecuación empírica que relaciona el grado de conversión en reactores adiabáticos con el número de mallas, con las propiedades intrínsecas del catalizador. Dicha ecuación nos permitirá obtener el número de mallas necesario.

$$\ln(1 - X) = -\frac{2}{3} \cdot \frac{5,81761 \cdot 10^{-5} \cdot \eta_s \cdot f_w \cdot (293,98 + 913,39 \cdot X)^{0,333} \cdot (28,85 + 11,82 \cdot Y_A)^{0,667}}{\epsilon_w^{0,352} \cdot d_w^{0,648} \cdot G^{0,648} \cdot \mu_f^{0,019}}$$

En donde las variables se definen como:

X, grado de conversión fijado.

d_w , diámetro de los hilos del catalizador.

f_w , relación entre el área del alambre y el área de la sección transversal de la malla.

Y_A , fracción molar del amoníaco en la mezcla.

μ_f , viscosidad de la mezcla.

ϵ_w , porosidad del lecho catalítico.

G , gasto másico.

η_s , número de mallas.

Los parámetros de la ecuación que requieren de un cálculo numérico son el gasto másico y la viscosidad:

$$\mu_f = (12,5 + 29,2 \cdot 10^{-3} \cdot (293,98 + 913,39 \cdot X)) \cdot 10^{-5} = 47,68 \cdot 10^{-5} (\text{gr/cm} \cdot \text{s})$$

$$G = \frac{m(\frac{g}{s})}{S(\text{cm}^2)}$$

$$m = \frac{30916 \text{kg}}{h} = \frac{8587,78 \text{g}}{s}$$

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{200^2}{4} = 31415,92 \text{ cm}^2$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación se obtiene un gasto másico:

$$G = \frac{8587,78}{31415,92} = 0,2733 \text{g/s} \cdot \text{cm}^2$$

En la *tabla 2.3* se muestran los valores de los parámetros para obtener el número de mallas.

Tabla 2. 3 Parámetros del balance de energía del reactor.

Parámetros de la ecuación	Valor
X	0,9973
d _w	0,0078 cm
f _w	1,9
Y _A	0,076
μ _f	47,68 · 10 ⁻⁴ (gr/cm · s)
ε _w	0.809
G	0,2733g/s · cm ²

Una vez tenemos todos los valores, los sustituimos en la ecuación para obtener mediante el balance el número de mallas del reactor:

$$\ln(1 - 0,9973) = -\frac{2}{3} \cdot \frac{5,81761 \cdot 10^{-5} \cdot \eta_s \cdot 1,9 \cdot 1204,90^{0,333} \cdot (28,85 + 11,82 \cdot 0,07)^{0,667}}{0,809^{0,352} \cdot (7,8 \cdot 10^{-4})^{0,648} \cdot 0,2733^{0,648} \cdot (4,76 \cdot 10^{-4})^{0,019}}$$

$$n_s \approx 11,74 \approx 12 \text{ mallas}$$

❖ VOLUMEN DEL REACTOR

$$V_{Reactor} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h = \pi \cdot \frac{2^2}{4} \cdot 8,54 = 26,829 \text{ m}^3$$

❖ CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA DEL REACTOR.

Para calcular la pérdida de carga del reactor de lecho fijo catalítico se utiliza la ecuación de Ergun:

$$-\frac{dP}{dl} = \frac{1-\epsilon}{\epsilon} \left[0,75 + 150 \cdot \frac{(1-\epsilon)}{Re_g} \right] \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{d_w}$$

Donde:

$$Re_g = \frac{G \cdot d_w}{\mu} = \frac{0,2733 \left(\frac{g}{cm^2 \cdot s} \right) \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} (cm)}{4,76 \cdot 10^{-4} (gr/cm \cdot s)} = 4,2978$$

$$V = V_{lecho} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot d_w \cdot n^\circ \text{ mallas} = \pi \cdot \frac{2^2}{4} \cdot 7,8 \cdot 10^{-5} \cdot 12 = 2,94 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$-\frac{\Delta P}{L} = \frac{1 - 0,809}{0,809} \left[0,75 + 150 \cdot \frac{(1 - 0,809)}{4,2978} \right] \cdot \frac{1,34 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot (2,94 \cdot 10^{-3})^2 (m^3)}{7,8 \cdot 10^{-5} (m)}$$

$$\frac{-\Delta P}{L} = 0,25 \left(\frac{atm}{m} \right)$$

2.2 Diseño del rehervidor

Para llevar a cabo el diseño del rehervidor se va a utilizar el método de Kern, el cual permite calcular el coeficiente individual de transmisión de calor y la caída de presión de forma satisfactoria.

En la *tablas 2.4, 2.5 y 2.6* se muestran los datos termodinámicos necesarios, tanto del amoníaco líquido y gas como del vapor de agua a las presiones y temperaturas de operación.

Tabla 2.4 Propiedades termodinámicas del amoníaco líquido

Propiedad termodinámica NH ₃ (líquido)	Valor
P (atm)	4,5
T (°C)	0
Densidad (kg/m ³)	638,59
Cp (kJ/Kg K)	4,616125
Viscosidad dinámica (10 ⁻⁶ (kg/m s))	170,1

Tabla 2.5 Propiedades termodinámicas del amoníaco gas

Propiedad termodinámica NH ₃ (gas)	Valor
P (atm)	4,5
Tsat (°C)	2
Lv (kJ/kg)	1268,48
Densidad (kg/m ³)	3,43
Cp (kJ/kg K)	2,55
Viscosidad dinámica (10 ⁻⁶ (kg/m s))	3,44

Tabla 2.6 Propiedades termodinámicas del vapor de agua

Propiedad termodinámica vapor de agua	Valor
P (atm)	2
Tsat (°C)	120,37
Lc (kJ/kg)	-2201,59
Densidad (kg/m ³)	1,134
cp (kJ/kg K)	2,1761
Viscosidad dinámica (10 ⁻⁵ (kg/m s))	1,3

❖ Balance de energía

$$q_{\text{NH}_3} = -q_{\text{vapor agua}}$$

$$m_{\text{NH}_3} \cdot c_p \cdot \Delta T + m_{\text{NH}_3} \cdot L_v = m_{\text{vapor agua}} \cdot L_c$$

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4.61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (2 - 0) + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1268.48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -m_{\text{vapor agua}} \cdot (-2201,59)$$

$$q = 1277700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 354916,67 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 354,9 \text{ KW}$$

Se añade un 5% al calor total ya que se consideran las pérdidas de calor en el rehervidor:

$$1,05 \cdot 1277700 = 1341585 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 372662,5 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 372,6 \text{ KW}$$

$$m_{\text{vapor agua}} = 609,37 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,17 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

❖ **Determinar el área provisional**

Para determinar el área provisional de intercambio de calor se debe utilizar un coeficiente de intercambio de calor, obtenido de tablas bibliográficas, teniendo en cuenta el tipo de fluidos y su disposición dentro del intercambiador de calor.

$$U = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$q = U \cdot A \cdot (T_W - T_B)$$

$$372662,5 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot A \cdot (120,37 - 2)$$

$$A = 3,16 \text{ m}^2$$

❖ **Decidir tipo, tamaño, disposición y material de los tubos. Asignar fluido a los tubos y a la coraza**

Los valores que se aconsejan según las normas TEMA son:

$$D_{\text{ot}}, \text{ diámetro externo tubo} = 19,05 \text{ mm}$$

$$e_t, \text{ espesor tubo} = 1,25 \text{ mm}$$

$$D_{\text{it}}, \text{ diámetro interno tubo} = 19,05 - 2 \cdot 1,25 = 16,57 \text{ mm}$$

$$L_{\text{tubo real}} = 4,88 \text{ m}$$

$$e_{\text{placa tubos}} = 25\text{mm} = 0,025 \text{ m}$$

$$L_{\text{tubo}} = 4,88 - 2 \cdot 0,025 = 4,83$$

$$\text{Material: Níquel soldado } K = 62 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

La asignación del fluido a los tubos y a la coraza es:

- Por el interior de los tubos: vapor de agua que entra a la temperatura de saturación.
- Por la coraza: amoníaco líquido.

Se elige una disposición cuadrada y la distancia entre tubos se calcula como:

$$p = 1,5 \cdot D_{\text{ot}}$$
$$p = 1,5 \cdot 19,05 = 28,57\text{mm}$$

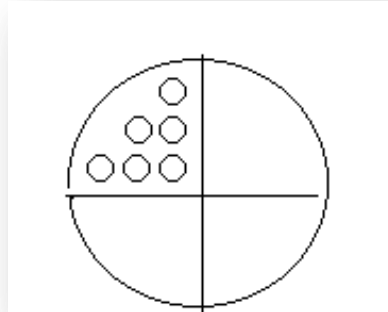
❖ Cálculo del número de tubos

$$A = \pi \cdot D_{\text{ot}} \cdot L_t \cdot N_t$$
$$3,16 = \pi \cdot 0,01905 \cdot 4,83 \cdot N_t$$
$$N_t = 11,02 \cong 12 \text{ tubos}$$

❖ Cálculo del diámetro interno de la coraza

Para obtener el diámetro del haz de tubos se realizará una representación que se muestra en la *figura 2.1* teniendo en cuenta que la disposición de los tubos es cuadrada y que el espacio libre del nivel del líquido y la superficie interna de la coraza debe ser como mínimo de 0,25m.

Figura 2.1 disposición de los tubos.



En la *tabla 2.7* se muestra un resumen de los datos calculados como es el número de tubos así como de los otros parámetros fijados.

Tabla 2.7 Resumen de los datos calculados y fijados para el diseño del rehervidor

Datos	Valor
Número de tubos	12
Disposición	Cuadrada
Pitch, distancia entre centros (mm)	28,57
D_{ot} (mm)	29,05
Número de pasos en los tubos	2
Número de pasos en la coraza	1

Teniendo en cuenta los factores de la tabla fijados junto con la representación de la *figura 2.1* se determina el diámetro del haz de tubos:

$$D_h, \text{ diámetro haz de tubos} = 280\text{mm}$$

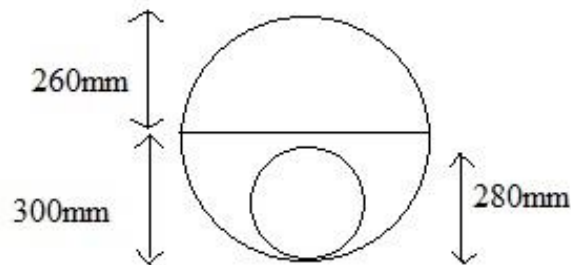
A partir de este valor se determina el diámetro interno de la coraza mediante la siguiente fórmula:

$$D_{ic}, \text{ diámetro interno coraza} = 2 \cdot D_h$$

$$D_{ic} = 2 \cdot 280 = 560\text{mm}$$

En la *figura 2.2* se muestra una representación de la sección transversal del rehervidor tipo caldera diseñado.

Figura 2.2 Sección transversal del rehervidor



Por tanto la sección libre de paso será:

$$\text{Sección libre paso} = 560 - 300 = 260\text{mm} = 0,26\text{m}$$

Por tanto sí que cumple con las normas TEMA ya que la sección libre de paso es mayor a 0,25 m.

❖ Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor

Para proceder al cálculo del coeficiente global de transmisión de calor, en primer lugar se necesitan los coeficientes individuales para el lado de los tubos y para la coraza.

El coeficiente individual de transmisión de calor de los tubos por el que circula vapor de agua que condensa se obtiene de datos bibliográficos del libro *Chemical Engineering design* con un valor de $8000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.

Para calcular el coeficiente individual en la coraza por el que circula amoniaco líquido a 4,5 atm se considera ebullición con nucleación y se utiliza la ecuación de Mostinski que se expresa como:

$$h = 0,104 \cdot P_C^{0,69} \cdot \left(\frac{q}{A}\right)^{0,7} \cdot \left[1,8 \cdot \left(\frac{P}{P_C}\right)^{0,17} + 4 \cdot \left(\frac{P}{P_C}\right)^{1,2} + 10 \cdot \left(\frac{P}{P_C}\right)^{10}\right]$$

En la *tabla 2.8* se muestran las variables de la ecuación así como sus valores correspondientes:

Tabla 2.8 Variables de la ecuación de Mostinski

Variable	Valor
P, presión(atm)	4,5
P _C , presión crítica(atm)	113,3
$\frac{q}{A}$, densidad de flujo $\left(\frac{KW}{m^2}\right)$	$\frac{354,9}{3,16} = 112,3$

Por tanto, sustituyendo los valores en la ecuación:

$$h = 0,104 \cdot 113,3^{0,69} \cdot (112,3 \cdot 10^3)^{0,7} \cdot \left[1,8 \cdot \left(\frac{4,5}{113,3}\right)^{0,17} + 4 \cdot \left(\frac{4,5}{113,3}\right)^{1,2} + 10 \cdot \left(\frac{4,5}{113,3}\right)^{10}\right]$$

$$h_{NH_3} = 10478,26 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Una vez tenemos los coeficientes individuales de transmisión de calor se procede al cálculo del coeficiente global de transmisión de calor.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{\text{vapor agua}}} \cdot \frac{D_o}{D_i} + \frac{1}{h_{\text{NH}_3}} + \left(\frac{I_c}{K_c}\right)_{\text{vapor agua}} \cdot \frac{D_o}{D_i} + \left(\frac{I_c}{K_c}\right)_{\text{NH}_3} + \frac{1}{K} \cdot \frac{D_o}{D_L}$$

En donde:

$$D_o = D_{ot} = 0,01905\text{m}$$

$$D_i = D_{it} = 0,01657\text{m}$$

$$D_L = \frac{D_{ot} - D_{it}}{\ln \frac{D_{ot}}{D_{it}}} = 0,01778\text{m}$$

$$l = \frac{1}{2} (D_{ot} - D_{it}) = 1,24 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

Los coeficientes de ensuciamiento se sacan de tablas propuestas según las normas TEMA y tienen el valor de:

$$\left(\frac{I_c}{K_c}\right)_{\text{vapor agua}} = \left(\frac{I_c}{K_c}\right)_{\text{NH}_3} = \frac{1}{5000}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{8000} \cdot \frac{0,01905}{0,01657} + \frac{1}{10478,26} + \frac{1}{5000} \cdot \frac{0,01905}{0,01657} + \frac{1}{5000} + \frac{1,24 \cdot 10^{-3}}{62} \cdot \frac{0,01905}{0,01778}$$

$$U = 1448,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

Por tanto , según datos bibliográficos del libro *Chemical Engineering design*, se considera que el valor supuesto es próximo al valor calculado y se da como correcto el diseño del rehervidor.

❖ CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA.

1. Pérdida de carga en la coraza.

$$\Delta P = 4 \cdot f \cdot \frac{D_{ic}}{D_{eq}} \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \cdot \frac{l_t}{I_d} \quad \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

Para el cálculo de la pérdida de carga en la coraza por la cual circula el amoníaco líquido se necesitan calcular previamente algunos parámetros como:

- Distancia entre deflectores.

$$I_d = 0,4 \cdot D_{ic} = 0,4 \cdot 0,56m = 0,224m$$

- Corte del deflector.

Según las normas TEMA un valor adecuado para el corte del deflector es 0,25.

- Área máxima perpendicular al flujo del fluido en la zona de flujo cruzado, S_c .

$$S_c = (p - D_{ot}) \cdot \frac{D_{ic}}{p} \cdot I_d$$

$$S_c = (28,57 - 19,05) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{560}{28,57} \cdot 0,224 = 0,041 \text{ m}^2$$

- Gasto másico y velocidad

$$G = \frac{m}{S_c} = \frac{0,28\text{kg/s}}{0,041\text{m}^2} = 6,77 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{6,77\text{kg/s} \cdot \text{m}^2}{638,59\text{kg/m}^3} = 0,0106 \text{ m/s}$$

- Diámetro equivalente

$$D_{\text{eq}} = \frac{1,103}{D_{\text{ot}}} \cdot (p^2 - 0,907 \cdot D_{\text{ot}}^2)$$

$$D_{\text{eq}} = \frac{1,103}{0,01905} \cdot (0,02857^2 - 0,907 \cdot 0,01905^2) = 0,028 \text{ m}$$

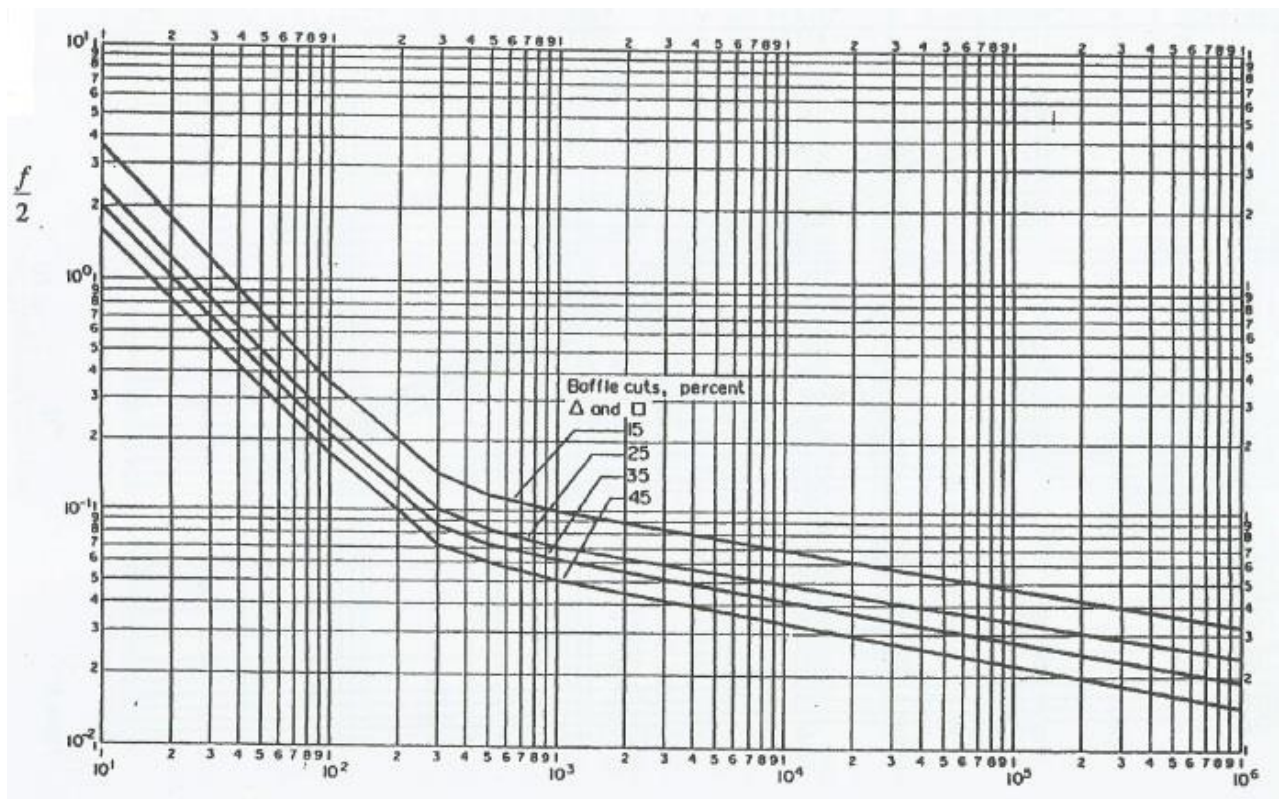
- Número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{G \cdot D_e}{\mu} = \frac{6,77 \cdot 0,028}{170,1 \cdot 10^{-6}} = 1114,4$$

- Factor de fricción , f

Para el cálculo del factor de fricción se puede utilizar la *figura 2.3* que expresa el factor en función del número de Reynolds y el corte de los deflectores.

Figura 2.3 Diagrama para el cálculo del factor de fricción en función de los Reynolds



Se obtiene un factor de fricción f :

$$\frac{f}{2} = 6 \cdot 10^{-1}$$

$$f = 1,2$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación correspondiente:

$$\Delta P = 4 \cdot 1,2 \cdot \frac{0,56}{0,028} \cdot \frac{0,0106^2 \cdot 638,59}{2} \cdot \frac{4,83}{0,224}$$

$$\Delta P = 74,26 \left(\frac{N}{m^2} \right) = 0,00072 \text{ atm}$$

2. Pérdida de carga en los tubos.

Para el cálculo de la pérdida de carga en los tubos se realiza una estimación encontrada en material bibliográfico en la que se indica que cuando el vapor de agua condensa en el interior de los tubos la pérdida de carga se puede calcular como $\frac{1}{4}$ del valor de la pérdida de carga como si por dentro de los tubos circulara solamente vapor de agua sin condensar.

$$\Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right) = Np \cdot \left[4 \cdot f \cdot \frac{l_t}{D_{it}} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

$$Np(\text{número de pasos en los tubos}) = 2$$

$$l_t(\text{longitud de los tubos}) = 4,83\text{m}$$

$$\rho(\text{densidad vapor}) = 1,656 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D_{it} = 0,01657\text{m}$$

Para el cálculo del gasto másico se necesita el caudal de vapor por cada tubo:

$$m \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = \frac{m_{\text{total}}}{\left(\frac{Nt}{Np} \right)} = \frac{0,028}{\left(\frac{12}{2} \right)} = 0,028$$

$$G = \frac{m \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)}{S(\text{m}^2)} = \frac{m}{\pi \cdot \frac{D_{it}^2}{4}} = \frac{0,028}{\pi \cdot \frac{0,01657^2}{4}} = 129,84 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

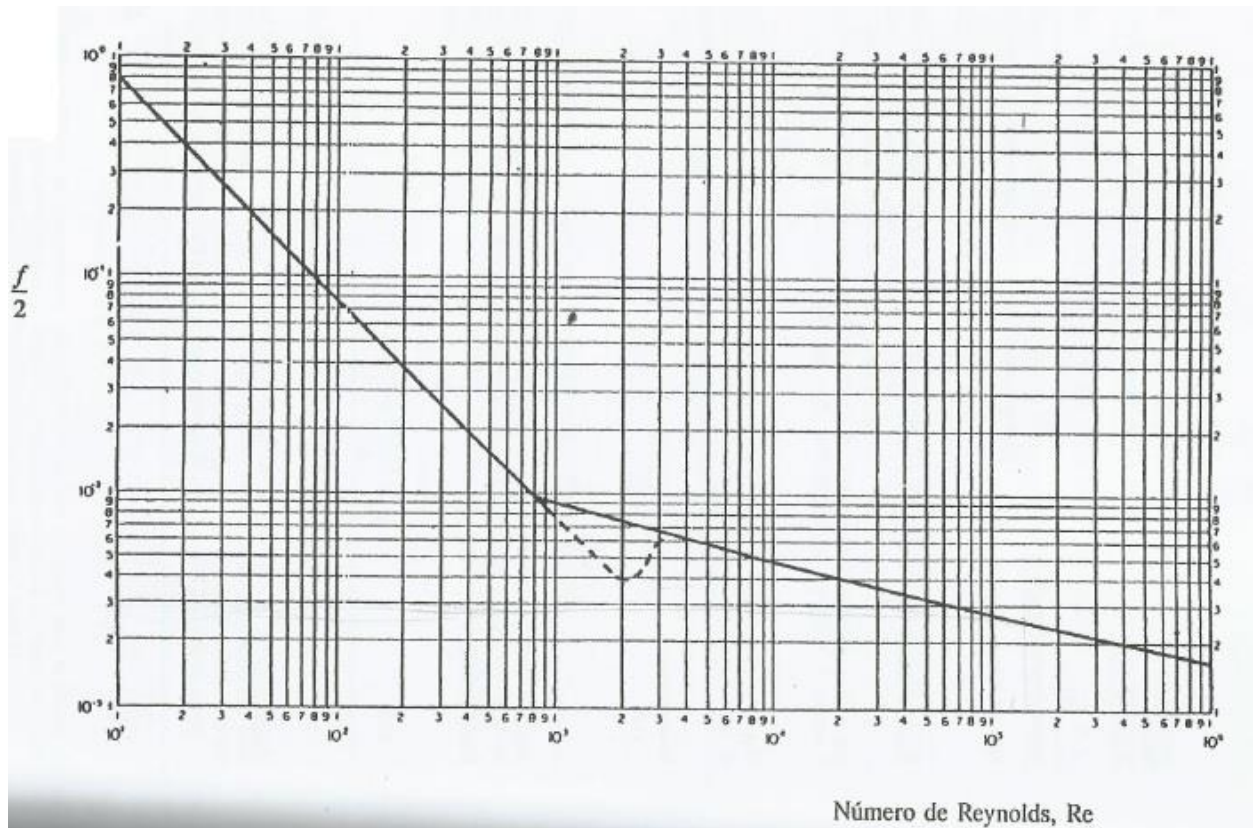
$$v = \frac{G}{\rho} = \frac{129,84 \text{kg/s} \cdot \text{m}^2}{1,134 \text{kg/m}^3} = 78,93 \text{ m/s}$$

Para el cálculo del coeficiente de fricción se necesitan el número de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{\rho(\text{kg/m}^3) \cdot v\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \cdot D_{\text{it}}(\text{m})}{\mu\left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}\right)}$$
$$\text{Re} = \frac{1,134 \cdot 78,3 \cdot 0,01657}{1,3 \cdot 10^{-5}} = 114086,64$$

Con el número de Reynolds y la *figura 2.4* se obtiene el coeficiente de fricción.

Figura 2.4 Diagrama para el cálculo del factor de fricción



$$\frac{f}{2} = 2,1 \cdot 10^{-2}$$

$$f = 0,042$$

Sustituyendo los datos en la ecuación:

$$\Delta P \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) = 2 \cdot \left[4 \cdot 0,042 \cdot \frac{4,83}{0,01657} + 2,5 \right] \cdot \frac{1,134 \cdot 78,93^2}{2}$$

$$\Delta P = 361477,28 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 3,5 \text{ atm}$$

Si aplicamos la estimación:

$$\Delta P_{\text{tubos}} = \frac{1}{4} \cdot 3,5 = 0,87 \text{ atm}$$

2.3 Diseño de las conducciones

❖ Tramo 1: conducción de amoníaco líquido mediante una bomba.

En este apartado se va a calcular la potencia de la bomba para conducir el fluido desde la esfera de almacenamiento al rehervidor.

$$W_{\text{real}} = \frac{W_{\text{teórica}}}{\eta} = \frac{h \cdot g \cdot m}{\eta}$$

Donde:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$m = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,28 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\eta = 0,6$$

Para calcular la carga total del sistema, h , se utiliza el siguiente balance:

$$h = (z_2 - z_1) + \frac{1}{g} \cdot \left(\frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha_2} - \frac{v_1^2}{2 \cdot \alpha_1} + \Delta F_t \right)$$

Debido a que los dos puntos de entrada y salida de la conducción se encuentran a la misma altura:

$$z_2 - z_1 = 0$$

Debido a que la presión del fluido en el tanque y en el rehervidor es prácticamente la misma:

$$p_2 - p_1 \approx 0$$

Debido a que la velocidad de circulación en la conducción es la misma porque se mantiene el diámetro de esta constante:

$$v_2^2 - v_1^2 = 0$$

Por tanto la carga del sistema se traduce a:

$$h = \frac{1}{g} \cdot \Delta F_t$$

$$\Delta F_t = \Delta F_{\text{impulsión}} + \Delta F_{\text{aspiración}}$$

En primer lugar se va a calcular la pérdida de carga en el tramo de aspiración:

$$\Delta F_{\text{aspiración}} = \Delta F_{\text{tramo recto}} + \Delta F_{\text{accidentes}}$$

Para saber las ecuaciones adecuadas para el cálculo de la pérdida de carga en el tramo recto se debe calcular el número de Reynolds para saber si se trata de un flujo laminar o turbulento:

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{m \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} = \frac{0,27}{638,59} = 4,34 \cdot 10^{-4}$$

$$D = 10\text{cm} = 0.1\text{m}$$

$$v = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{S \left(\text{m}^2 \right)} = \frac{4,34 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{4,34 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot \frac{0,1^2}{4}} = 0,055\text{m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{638,59 \cdot 0,0552 \cdot 0.1}{170 \cdot 10^{-6}} = 20735,34$$

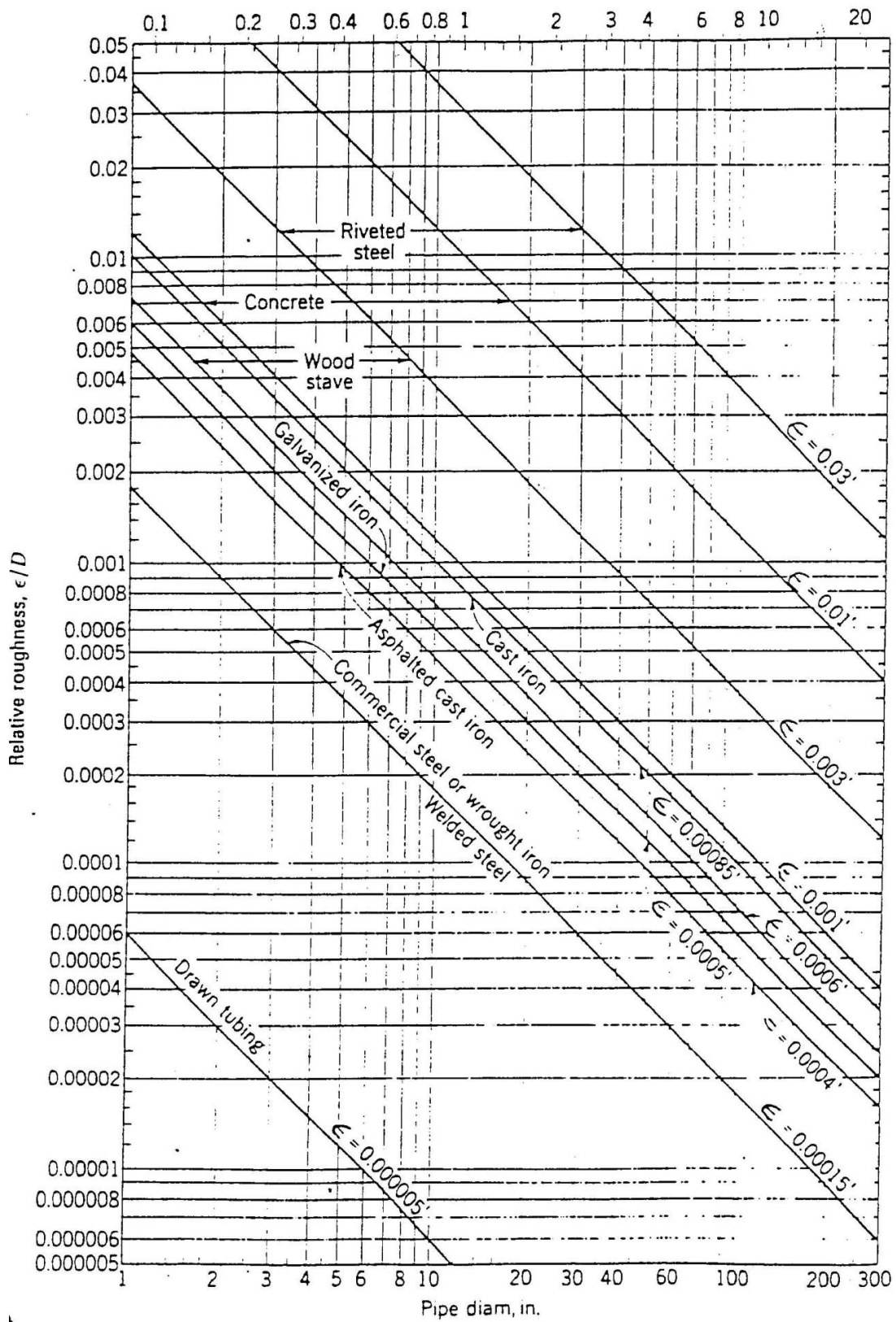
Para régimen turbulento se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta F_{\text{tramo recto}} = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D}$$

$$L = 5\text{m}$$

La rugosidad relativa para la tubería de acero comercial se obtiene con la *figura 2.5* a partir del diámetro y el material de los tubos.

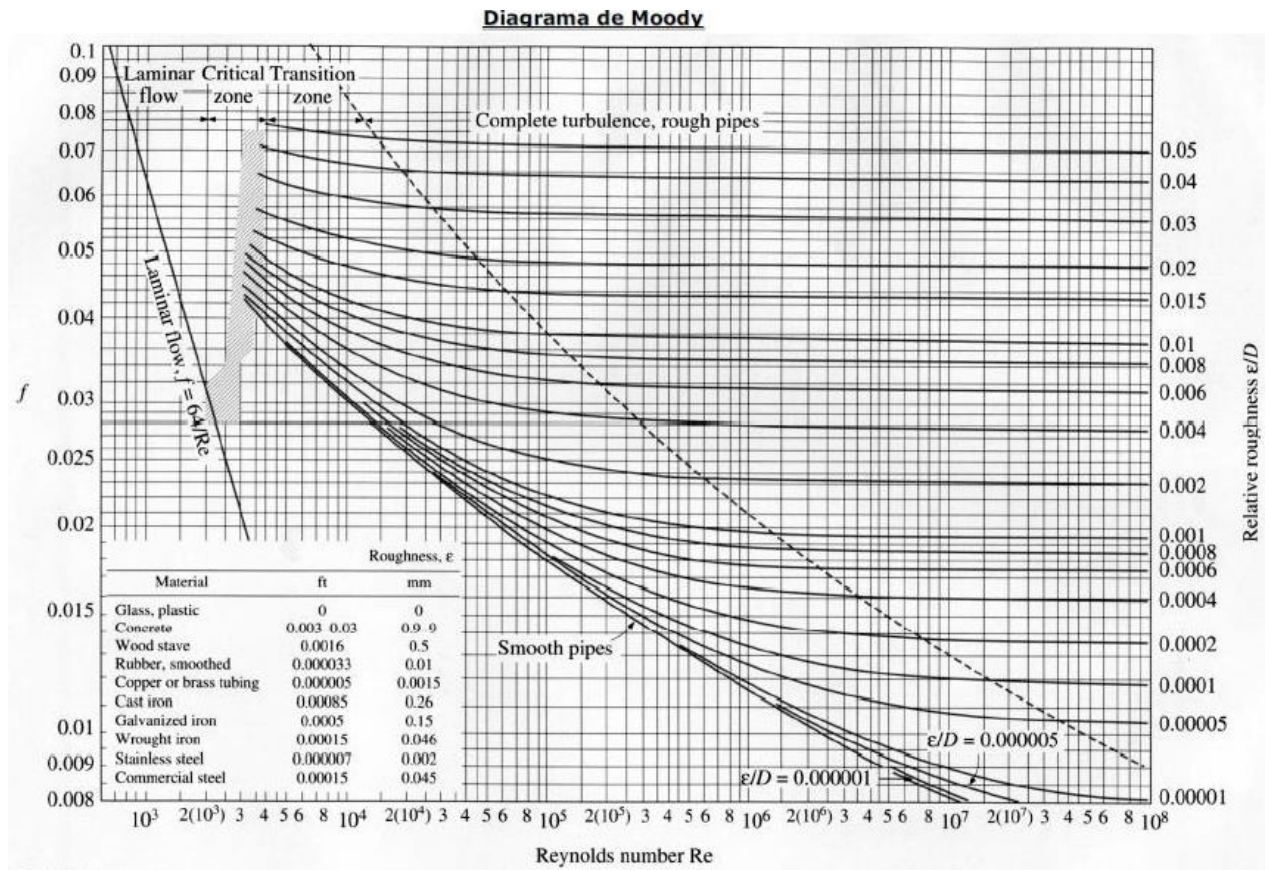
Figura 2.5 Diagrama de rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de diversos materiales.



$$\frac{\epsilon}{D} = 0,0005$$

El valor del factor de fricción se obtendrá gráficamente en función del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad con la *figura 2.6* que se muestra a continuación.

Figura 2.6 Diagrama de Moody: Coeficiente de fricción en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la superficie del tubo.



$$f = 0,027$$

$$\Delta F_{\text{tramo recto}} = 2 \cdot 0,027 \cdot 0,0552^2 \cdot \frac{5}{0,1} = 8,22 \cdot 10^{-3}$$

Para el cálculo de las pérdidas de carga en los accidentes se utiliza el procedimiento de las “cargas de velocidad” mediante la ecuación:

$$\Delta F_{\text{accidentes}} = \sum K \cdot \frac{v^2}{4}$$

En donde K es una constante característica de cada accidente (tabulada en el Perry and Chilton “Chemical Engineers” Handbook) y la v es la velocidad calculada anteriormente.

En la *tabla 2.9* se muestran los accidentes del tramo 1 para la aspiración así como su constante característica.

Tabla 2.9 Constante característica de cada accidente del tramo 1

Accidente	K
Entrada encañonada	0,78
Válvula diafragma abierta	2,3

$$\Delta F_{\text{accidentes}} = 0,78 \cdot \frac{0,055^2}{2} + 2,3 \cdot \frac{0,055^2}{2} = 4,65 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta F_{\text{aspiración}} = 8,22 \cdot 10^{-3} + 4,65 \cdot 10^{-3} = 0,01287$$

Para el cálculo de la pérdida de carga para la impulsión se procederá de la misma forma:

$$\Delta F_{\text{impulsión}} = \Delta F_{\text{tramo recto}} + \Delta F_{\text{accidentes}}$$

$$\Delta F_{\text{tramo recto}} = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,027 \cdot 0,055^2 \cdot \frac{10}{0,1} = 0,01633$$

$$\Delta F_{\text{accidentes}} = \sum K \cdot \frac{v^2}{4}$$

En la *tabla 2.10* se muestran los accidentes del tramo 1 para la impulsión así como su constante característica.

Tabla 2.10 Constante característica de cada accidente del tramo 1

Accidente	K
Válvula diafragma abierta	2,3
Salida encañonada	1

$$\Delta F_{\text{accidentes}} = 2,3 \cdot \frac{0,055^2}{2} + 1 \cdot \frac{0,055^2}{2} = 4,99 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta F_{\text{impulsión}} = 0,01633 + 4,99 \cdot 10^{-3} = 0,02132$$

$$\Delta F_t = \Delta F_{\text{impulsión}} + \Delta F_{\text{aspiración}} = 0,01287 + 0,02132 = 0,03419$$

Una vez calculada la pérdida de carga total se sustituyen los valores en la ecuación para calcular la carga total del sistema:

$$h = \frac{1}{g} \cdot \Delta F_t = \frac{1}{9,81} \cdot 0,03419 = 3,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Por tanto la potencia real del sistema será:

$$W_{\text{real}} = \frac{W_{\text{teórica}}}{\eta} = \frac{h \cdot g \cdot m}{\eta} = \frac{3,48 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 0,27}{0,6} = 0,015 \text{ W}$$

❖ Tramo 2 : conducción de amoníaco gas

Para este tramo que empieza en el rehervidor , p1(presión al inicio del tramo), y termina en el mezclador,p2(presión al final del tramo), no se necesita ningún tipo de compresor debido a que la presión final es menor a la inicial. Se realizará un balance de energía para obtener la longitud de la tubería que se necesita para que el amoníaco gas pueda circular teniendo en cuenta los accesorios que contiene dicha conducción.

Suponiendo que se trata de una circulación isoterma:

$$\frac{M}{2 \cdot z \cdot R \cdot T} \cdot (p_1^2 - p_2^2) = 2 \cdot f \cdot G^2 \cdot \frac{L}{D} + G^2 \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Teniendo en cuenta que la conducción es de acero comercial con un diámetro de 0,2 m:

$$T = 275 \text{ K}$$

$$z \approx 1$$

$$Q = \frac{m\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)}{\rho\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = \frac{0,27}{3,39} = 0,0819 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$G = \frac{Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \cdot \rho\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{S(\text{m}^2)} = \frac{0,0819 \cdot 3,39}{\pi \cdot \frac{0,2^2}{4}} = 8,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{G \cdot D}{\mu} = \frac{8,8 \cdot 0,2}{3,46 \cdot 10^{-6}} = 508670,52$$

La rugosidad relativa para la tubería de acero comercial se obtiene con la *figura 2.3.1* a partir del número de Reynolds.

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,00025$$

El valor del factor de fricción se obtendrá gráficamente en función del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad con la *figura 2.3.2*.

$$f = 0,014$$

Substituyendo todos estos datos en el balance:

$$\frac{17}{2 \cdot 1 \cdot 8314 \cdot (273 + 2)} \cdot (4,5^2 - 1,1^2) = 2 \cdot 0,014 \cdot 8,8^2 \cdot \frac{L}{0,2} + 8,8^2 \cdot \ln \frac{4,5}{1,1}$$

$$L = 0,13\text{m}$$

Se necesitaría esta longitud para vencer las pérdidas de carga del tramo recto sin considerar los accidentes de la conducción. Para tener en cuenta los demás accesorios se deberá realizar el método de la longitud equivalente el cual permite obtener la longitud equivalente del accidente, es decir la longitud de tubería recta que produce la misma pérdida de energía mecánica que el accidente.

A partir de la relación (longitud/Diámetro) que se muestra en la *tabla 2.11* se pueden calcular las longitudes equivalentes de válvulas y codos.

Tabla 2.11 Longitudes equivalentes de accesorios

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

En la *tabla 2.12* se muestra la longitud equivalente de los accidentes que se ha calculado utilizando la *tabla 2.11*.

Tabla 2.12 Longitud equivalente de los accidentes del tramo 2

Accidentes	Longitud equivalente
Válvula mariposa	$Leq = 40 \cdot 0.2 = 8m$
Codo estándar de 90°	$Leq = 27 \cdot 0.2 = 5,4m$

Se elige la válvula mariposa ya que este tipo es de rápida obertura y será la indicada para controlar el caudal de entrada al mezclador, un punto muy importante en la instalación.

Para el cálculo de las longitudes equivalentes para las entradas y salidas a la conducción se utilizan las fórmulas que se muestran en la *tabla 2.13*.

Tabla 2.13 Fórmulas para el cálculo de longitudes equivalentes

Aditamento	Longitud equivalente(m) <i>D</i> (pulgadas) <i>C</i> Hazen Williams.
Codo radio largo 90°	$Le = (0.52D+0.04)(C/100)^{1.85}$
Codo radio medio 90°	$Le = (0.67D+0.09)(C/100)^{1.85}$
Codo radio corto 90°	$Le = (0.76D+0.17)(C/100)^{1.85}$
Codo de 45°	$Le = (0.38D+0.02)(C/100)^{1.85}$
Curva 90° $r/D = 1 \frac{1}{2}$	$Le = (0.30D+0.04)(C/100)^{1.85}$
Curva 90° $r/D = 1$	$Le = (0.39D+0.11)(C/100)^{1.85}$
Curva de 45°	$Le = (0.18D+0.06)(C/100)^{1.85}$
Entrada normal	$Le = (0.46D+0.08)(C/100)^{1.85}$
Entrada de borda	$Le = (0.77D-0.04)(C/100)^{1.85}$
Válvula de compuerta abierta	$Le = (0.17D+0.03)(C/100)^{1.85}$
Válvula de globo abierta	$Le = (8.44D+0.50)(C/100)^{1.85}$
Válvula de ángulo abierta	$Le = (4.27D+0.25)(C/100)^{1.85}$
Tee de paso directo	$Le = (0.53D+0.04)(C/100)^{1.85}$
Tee con salida de lado	$Le = (1.56D+0.37)(C/100)^{1.85}$
Tee con salida a ambos lados	$Le = (0.56D+0.33)(C/100)^{1.85}$
Válvula de pie con rejilla	$Le = (6.38D+0.40)(C/100)^{1.85}$
Válvula de retención tipo liviano	$Le = (2.00D+0.20)(C/100)^{1.85}$
Válvula de retención tipo pesado	$Le = (3.20D+0.03)(C/100)^{1.85}$
Reducción gradual	$Le = (0.15D+0.01)(C/100)^{1.85}$
Ampliación gradual	$Le = (0.31D+0.01)(C/100)^{1.85}$
Salida de tubería	$Le = (0.77D+0.04)(C/100)^{1.85}$

Se ha de tener en cuenta que los diámetros son en pulgadas y la constante C de Hazen Williams para una tubería de acero comercial es de 100. En la tabla 2.14 se muestran los cálculos de las longitudes equivalentes calculadas con las ecuaciones de la tabla 2.13, así como la longitud total necesaria.

Tabla 2.14 Longitud equivalente total y de las entradas y salidas a la tubería

Accidente	Longitud equivalente (m)
Entrada normal	$Le = (0,46 \cdot 7,8 + 0,08) \left(\frac{100}{100}\right)^{1,85} = 3,6$
Salida de tubería	$Le = (0,77 \cdot 7,8 + 0,04) \left(\frac{100}{100}\right)^{1,85} = 6$
$L_{total} = 23 \text{ m}$ (tramo recto prácticamente despreciable)	

❖ **Tramo 3: conducción de aire atmosférico del ventilador al mezclador.**

Para una tubería de acero galvanizado de 0,5m se calcula el caudal de la conducción y el gasto másico.

$$Q = \frac{m\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)}{\rho\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = \frac{3,33}{1,29} = 2,58 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$G = \frac{Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \cdot \rho\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{S(\text{m}^2)} = \frac{2,58 \cdot 1,29}{\pi \cdot \frac{0,5^2}{4}} = 16,93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

❖ **Tramo 4: conducción de la mezcla aire/amoníaco gas del mezclador al reactor.**

En este tramo se precisa de un compresor para poder suministrar la mezcla al reactor. A continuación se calcula la potencia necesaria por el compresor.

$$W_{\text{real}} = \frac{\widehat{W}}{\eta} \cdot m$$

$$\widehat{W} = \frac{z \cdot R \cdot T_1}{M} \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

En donde T_1 es la temperatura de los gases a la salida del mezclador, p_1 y p_2 en este caso son los puntos justo antes y después del compresor.

Debido a que se trata de una mezcla de gases, en primer lugar se va a calcular todas las propiedades necesarias en función de la proporción de cada sustancia.

$$z_{\text{NH}_3} \approx z_{\text{NH}_3} \approx 1$$

$$\% \text{NH}_3 = \frac{m_{\text{NH}_3}}{m_{\text{total}}} = \frac{1000}{13000} = 0,076$$

$$\% \text{NH}_{\text{aire}} = \frac{m_{\text{aire}}}{m_{\text{total}}} = \frac{12000}{13000} = 0,92$$

$$M = 0,076 \cdot 17 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}} + 0,92 \cdot 28,9 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}} = 27,88 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}$$

$$\rho_{\text{mezcla}} = 0,076 \cdot 3,39 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 0,92 \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_{\text{mezcla}} = 0,076 \cdot 3,46 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} + 0,92 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} = 1,68 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

A continuación se va a calcular la temperatura de los gases a la salida del mezclador, T_1 .

$$m_{\text{aire}} \cdot c_p \cdot (25 - T_1) = m_{\text{NH}_3} \cdot c_p \cdot (T_1 - 2)$$

$$12000 \cdot 1,006 \cdot (25 - T_1) = 1000 \cdot 2,55 \cdot (T_1 - 2)$$

$$T = 20,98^\circ\text{C}$$

Una vez calculados estos parámetros se va a proceder al cálculo de p_1 y p_2 . Debido a que el compresor va a estar situado a la salida del mezclador se supone que p_1 será el mismo que a la salida del mezclador, por tanto $p_1 \approx 0,8 \text{ atm}$

Para el cálculo de p_2 se supone una circulación isoterma y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{M}{2 \cdot z \cdot R \cdot T} \cdot (p_2'^2 - p_2^2) = 2 \cdot f \cdot G^2 \cdot \frac{L}{D} + G^2 \cdot \ln \frac{p_2'}{p_2}$$

En donde p_2' es la presión del punto final es decir, la presión del reactor. A continuación se va a calcular el gasto másico y el factor de fricción.

$$Q = \frac{m_{\text{mezcla}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)}{\rho_{\text{mezcla}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} = \frac{3,61}{1,44} = 2,50 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$G = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot \rho_{\text{mezcla}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{S(\text{m}^2)} = \frac{2,50 \cdot 1,44}{\pi \cdot \frac{0,5^2}{4}} = 18,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{G \cdot D}{\mu} = \frac{18,33 \cdot 0,5}{1,68 \cdot 10^{-5}} = 544791,16$$

La rugosidad relativa para la tubería de acero comercial se obtiene con la *figura 2.5* a partir del número de Reynolds.

$$\frac{\epsilon}{D} = 9 \cdot 10^{-5}$$

El valor del factor de fricción se obtendrá gráficamente en función del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad con la *figura 2.6*.

$$f = 0,014$$

Para obtener la longitud del tubo tendremos que sumarle a la longitud de partida diseñada con un valor determinado de 19 m (11 metros en horizontal y 8 metros en vertical) el valor de la longitud equivalente de los accesorios de dicha conducción. Para ello se utilizarán las *tablas 2.11 y 2.13* como se ha explicado anteriormente.

En la *tabla 2.15* se muestra el cálculo de la longitud equivalente de los accidentes del tramo 4 así como la longitud total necesaria.

Tabla 2.15 Longitud equivalente total y de los accidentes

Accidente	Longitud equivalente(m)
Válvula de compuerta abierta	$Leq = 13 \cdot 0,5 = 6,5$
2 codos de 90°	$Leq = 2 \cdot (27 \cdot 0,5) = 30$
Salida de la tubería	$Leq = (0,77 \cdot 19,7 + 0,04) \left(\frac{100}{100}\right)^{1,85} = 15,20$
Longitud equivalente total =51,7m	
L total =51,7+19=70,7m	

Sustituyendo en la ecuación todos los valores:

$$\frac{27,88}{2 \cdot 1 \cdot 8314 \cdot 293,98} \cdot (7^2 - p_2^2) = 2 \cdot 0,014 \cdot 18,33^2 \cdot \frac{70,7}{0,5} + 18,33^2 \cdot \ln \frac{7}{p_2}$$

$$p_2 = 17,6 \text{ atm}$$

$$\widehat{W} = \frac{z \cdot R \cdot T_1}{M} \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{1 \cdot 8314 \cdot 293,98}{27,88} \cdot \ln \frac{17,6}{0,8} = 270 \text{KW}$$

$$W_{\text{real}} = \frac{\widehat{W}}{\eta} \cdot m = \frac{270 \text{ KW}}{0,75} \cdot 3,61 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1304,32 \text{ KW}$$

2.4 Capacidad de la esfera de almacenamiento

Para conocer la capacidad que debe tener la esfera de almacenamiento se realiza la predicción de amoniaco líquido necesario para un periodo de tiempo de un mes.

$$1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \cdot \frac{1}{638,59} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} = 1127,48 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Por tanto se realizara la capacidad de la esfera en torno a 1500 m³.

2.5 Consumo de agua, combustible y electricidad

Para el cálculo de los consumos se ha de considerar que los equipos están en continuo funcionamiento las 24 h del día durante todo el año a excepción de algún paro de la instalación por causas de seguridad o mantenimiento.

Cálculo del consumo de agua anual:

$$610 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \cdot 24 \left(\frac{\text{h}}{\text{dia}} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{año}} \right) = 5270400 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Se añade un 5% más para tener en cuenta la reposición de agua. Se calculan los litros anuales que se consumen de agua destilada :

$$\frac{5}{100} \cdot 5270400 \frac{\text{kg}}{\text{año}} + 5270400 \frac{\text{kg}}{\text{año}} = 5533920 \frac{\text{kg}}{\text{año}} = 5533920 \frac{\text{l}}{\text{año}}$$

Cálculo del consumo de combustible (gasóleo) anual:

$$36 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \cdot 24 \left(\frac{\text{h}}{\text{dia}} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{año}} \right) = 315360 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$
$$315360 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot \frac{\text{m}^3}{832 \text{ kg}} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 379.038,46 \frac{\text{l}}{\text{año}}$$

Cálculo del consumo anual de los equipos de la instalación:

$$1800 \text{ kW} \cdot 24 \left(\frac{\text{h}}{\text{dia}} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{año}} \right) = 15768000 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

2.6 Consumo de amoníaco anual

En la siguiente ecuación se muestra el consumo de amoníaco al año , que será importante conocer para establecer el coste de materia prima y para tener en cuenta el mantenimiento de las mallas de platino/rodio.

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \cdot 365 \frac{\text{dia}}{\text{año}} = 8.760.000 \frac{\text{kg}}{\text{año}} = 8760 \frac{\text{toneladas}}{\text{año}}$$

3. CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS

3.1 Esfera de almacenamiento

Universidad Jaime I 1 Esfera para Amoníaco de 1.500 m ³ (Castellón)																																																																							
FICHA TÉCNICA	Item No. - No. 1																																																																						
ESQUEMA	DATOS DE DISEÑO																																																																						
	Código de diseño: ASME Sec.VIII Div.1 Estampa ASME requerida: No Código de diseño (Columnas): AISC / FI-STD Número de columnas: 8 Producto contenido: AMONIACO Gravedad específica (g/cm ³): 0,682 Presión de diseño (Kg/cm ²): 4,65 Presión de prueba (Kg/cm ²): 6,04 Temperatura de diseño (°C): 0 Viento (Km/h): TBD Sismo: TBD Corrosión Admisible (mm): 3,0 Configuración: Partial Football Eficiencia de junta: 1 Porcentaje de almacenamiento máximo: 98% (*) Capacidad nominal (m ³): 1.467 PWHT en Taller: SI PWHT en Obra: NO Aislamiento: SI Ignifugado de las columnas: SI Tensión admisible de diseño (Kg/cm ²): 1407,2																																																																						
CONFIGURACIÓN	Tensión admisible de diseño (Kg/cm ²): 1407,2 Tensión admisible de prueba (Kg/cm ²): 2386,1 Tensión de rotura de envoltente (Kg/cm ²): 4945,6 Límite elástico de envoltente (Kg/cm ²): 2651,3 Temp. (C.E.T.) para prueba impacto: Según Código																																																																						
Alzado	NOMENCLATURA DE LAS CHAPAS																																																																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>POS.</th> <th>ESP.</th> <th>DESIGNACIÓN</th> <th>MATERIAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AS</td> <td rowspan="6">Espesor Promedio 16,8 mm</td> <td>Casquete Sup. (# Central)</td> <td rowspan="6">SA516 Gr.70</td> </tr> <tr> <td>BS</td> <td>Casquete Sup. (# Lateral)</td> </tr> <tr> <td>CS</td> <td>Casquete Sup. (# Borde)</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Equatoriales</td> </tr> <tr> <td>CI</td> <td>Casquete Inf. (# Borde)</td> </tr> <tr> <td>BI</td> <td>Casquete Inf. (# Lateral)</td> </tr> <tr> <td>AI</td> <td></td> <td>Casquete Inf. (# Central)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	POS.	ESP.	DESIGNACIÓN	MATERIAL	AS	Espesor Promedio 16,8 mm	Casquete Sup. (# Central)	SA516 Gr.70	BS	Casquete Sup. (# Lateral)	CS	Casquete Sup. (# Borde)	E	Equatoriales	CI	Casquete Inf. (# Borde)	BI	Casquete Inf. (# Lateral)	AI		Casquete Inf. (# Central)																																																	
POS.	ESP.	DESIGNACIÓN	MATERIAL																																																																				
AS	Espesor Promedio 16,8 mm	Casquete Sup. (# Central)	SA516 Gr.70																																																																				
BS		Casquete Sup. (# Lateral)																																																																					
CS		Casquete Sup. (# Borde)																																																																					
E		Equatoriales																																																																					
CI		Casquete Inf. (# Borde)																																																																					
BI		Casquete Inf. (# Lateral)																																																																					
AI		Casquete Inf. (# Central)																																																																					
Planta	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PESO EN VACÍO DE LA ESFERA</th> <th>LONG. DE SOLDADURA</th> <th>No. CHAPAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>125.000 kg (aprox.)</td> <td>388 m (aprox.)</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	PESO EN VACÍO DE LA ESFERA		LONG. DE SOLDADURA	No. CHAPAS	125.000 kg (aprox.)	388 m (aprox.)	30																																																															
PESO EN VACÍO DE LA ESFERA		LONG. DE SOLDADURA	No. CHAPAS																																																																				
125.000 kg (aprox.)	388 m (aprox.)	30																																																																					
ACCESORIOS Y OTROS	MATERIALES																																																																						
<ul style="list-style-type: none"> - Escalera exterior - Plataforma superior - Barandilla - Placa de características - Tuercas de ignifugado de las columnas - Puesta a Tierra - Sistema contra incendio, soportes, tubería y conexiones - Tubos tranquilizadores 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Chapas</th> <th>Materiales</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Envoltente esférica:</td> <td>SA516 Gr.70</td> </tr> <tr> <td>Columnas (Parte superior):</td> <td>SA516 Gr.70</td> </tr> <tr> <td>Columnas (Parte inferior):</td> <td>S275 JR o Similar</td> </tr> <tr> <td>Columnas (Placa base):</td> <td>S275 JR o Similar</td> </tr> <tr> <td>Refuerzos de la envoltente:</td> <td>SA516 Gr.70</td> </tr> <tr> <td>Elementos estructurales:</td> <td>S275 JR</td> </tr> <tr> <td>Tubería:</td> <td>SA333</td> </tr> <tr> <td>Bridas:</td> <td>SA105 Gr.B</td> </tr> <tr> <td>Accesorios tubería:</td> <td>SA234 Gr.WPB</td> </tr> </tbody> </table>	Chapas	Materiales	Envoltente esférica:	SA516 Gr.70	Columnas (Parte superior):	SA516 Gr.70	Columnas (Parte inferior):	S275 JR o Similar	Columnas (Placa base):	S275 JR o Similar	Refuerzos de la envoltente:	SA516 Gr.70	Elementos estructurales:	S275 JR	Tubería:	SA333	Bridas:	SA105 Gr.B	Accesorios tubería:	SA234 Gr.WPB																																																		
Chapas	Materiales																																																																						
Envoltente esférica:	SA516 Gr.70																																																																						
Columnas (Parte superior):	SA516 Gr.70																																																																						
Columnas (Parte inferior):	S275 JR o Similar																																																																						
Columnas (Placa base):	S275 JR o Similar																																																																						
Refuerzos de la envoltente:	SA516 Gr.70																																																																						
Elementos estructurales:	S275 JR																																																																						
Tubería:	SA333																																																																						
Bridas:	SA105 Gr.B																																																																						
Accesorios tubería:	SA234 Gr.WPB																																																																						
ACCESORIOS Y OTROS	LISTA DE CONEXIONES																																																																						
* La altura máxima de llenado será revisada según los códigos de aplicación y los requisitos del cliente.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Marca</th> <th>No.</th> <th>Tamaño</th> <th>Tipo/Rating</th> <th>Servicio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N2</td> <td>1</td> <td>6"</td> <td>RF/300#</td> <td>Reserva</td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>1</td> <td>4"</td> <td>RF/300#</td> <td>Reserva</td> </tr> <tr> <td>N4</td> <td>1</td> <td>4"</td> <td>RF/300#</td> <td>Transmisor de nivel</td> </tr> <tr> <td>N5</td> <td>1</td> <td>4"</td> <td>RF/300#</td> <td>Transmisor de nivel</td> </tr> <tr> <td>N6</td> <td>1</td> <td>4"</td> <td>RF/300#</td> <td>Transmisor de temperatura</td> </tr> <tr> <td>N7</td> <td>1</td> <td>1½"</td> <td>RF/300#</td> <td>Transmisor de presión</td> </tr> <tr> <td>N9</td> <td>3</td> <td>8"</td> <td>RF/300#</td> <td>PSV</td> </tr> <tr> <td>N11</td> <td>1</td> <td>1½"</td> <td>RF/300#</td> <td>Transmisor de presión</td> </tr> <tr> <td>M1A</td> <td>1</td> <td>24"</td> <td>RF/300#</td> <td>Boca de hombre</td> </tr> <tr> <td>N1</td> <td>1</td> <td>8"</td> <td>RF/300#</td> <td>Entrada/Salida</td> </tr> <tr> <td>N8</td> <td>1</td> <td>1½"</td> <td>RF/300#</td> <td>Indicador de Temperatura</td> </tr> <tr> <td>N10</td> <td>1</td> <td>2"</td> <td>RF/300#</td> <td>Drenaje</td> </tr> <tr> <td>M1B</td> <td>1</td> <td>24"</td> <td>RF/300#</td> <td>Boca de hombre</td> </tr> </tbody> </table>	Marca	No.	Tamaño	Tipo/Rating	Servicio	N2	1	6"	RF/300#	Reserva	N3	1	4"	RF/300#	Reserva	N4	1	4"	RF/300#	Transmisor de nivel	N5	1	4"	RF/300#	Transmisor de nivel	N6	1	4"	RF/300#	Transmisor de temperatura	N7	1	1½"	RF/300#	Transmisor de presión	N9	3	8"	RF/300#	PSV	N11	1	1½"	RF/300#	Transmisor de presión	M1A	1	24"	RF/300#	Boca de hombre	N1	1	8"	RF/300#	Entrada/Salida	N8	1	1½"	RF/300#	Indicador de Temperatura	N10	1	2"	RF/300#	Drenaje	M1B	1	24"	RF/300#	Boca de hombre
Marca	No.	Tamaño	Tipo/Rating	Servicio																																																																			
N2	1	6"	RF/300#	Reserva																																																																			
N3	1	4"	RF/300#	Reserva																																																																			
N4	1	4"	RF/300#	Transmisor de nivel																																																																			
N5	1	4"	RF/300#	Transmisor de nivel																																																																			
N6	1	4"	RF/300#	Transmisor de temperatura																																																																			
N7	1	1½"	RF/300#	Transmisor de presión																																																																			
N9	3	8"	RF/300#	PSV																																																																			
N11	1	1½"	RF/300#	Transmisor de presión																																																																			
M1A	1	24"	RF/300#	Boca de hombre																																																																			
N1	1	8"	RF/300#	Entrada/Salida																																																																			
N8	1	1½"	RF/300#	Indicador de Temperatura																																																																			
N10	1	2"	RF/300#	Drenaje																																																																			
M1B	1	24"	RF/300#	Boca de hombre																																																																			
Cliente: UJI Ubicación: Castellón Ref.: - Rev.: A Fecha: 07/10/2015	Edición: Válido para estimación																																																																						

3.2 Filtro de cartuchos



20177-FH SARA ESTUPIÑA AÑIRO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PC-8 TS XL

Fluido a tratar	Aire ambiente
Tipo de contaminante	Ambiental
Caudal	12.000 m ³ /h
Temperatura de trabajo	Ambiente
Aplicación	Depuración aire
Número de cartuchos filtrantes	8
Superficie filtrante por cartucho	20 m ²
Tamaño cartuchos	Ø320x1.200 (h)
Material filtrante	Micro fibra de celulosa
Superficie filtrante total por equipo	160 m ²
Nº de electroválvulas	8 de 3/4"

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VENTILADOR

Ventilador centrífugo directo F.lli Ferrari modelo ART 561 N4A RD0, con las siguientes características:

- Caudal	12.000 m ³ /h
- Temperatura max	60 °C
- Presión total	300 mm. c.a.
- Presión estática	281 mm.c.a.@1,226 kg/m ³
- Presión dinámica	19 mm.c.a.@1,226 Kg/m ³
- Potencia absorbida	13´6 Kw @1,226 Kg/m ³
- Potencia instalada	15 Kw. 2 polos
- Giros	2.935 r.p.m.
- Sonoridad	83 dBA
- Rendimiento	71 %

Completo de silleta soporte motor-ventilador, contrabridas, puerta de inspección, válvula de salida, tapon de descarga de condensados, silentblocks y motor Siemens de 5´5 kw, 2 polos, 400V, 50Hz, con grado de eficiencia IE-3, totalmente montado y equilibrado.

CANALIZACIONES

Racor de conexión entre filtro y ventilador en acero galvanizado de espesor suficiente de Ø500 mm.

3.3 Ventilador centrífugo



Fecha	01/10/2015	Teléfono	
Nº de oferta	XXX-V	Fax	
Cliente	UJI	E-Mail	
Contacto	SARA ESTUPIÑÁ	Página Web	
Proyecto	PROYECTO UJI	Artículo	1
		Referencia	ART 561 N
		Cant.	1

Ventilador centrífugo directo

Temperatura	15°C
Altitud	0 m
Densidad	1,226 kg/m ³
Caudal	12.000 m ³ /h
Presión	300 kgf/m ² Total aspiración

Modelo	ART 561 N
Caudal	11.955 m ³ /h (100%)
Presión estática	281 kgf/m ² @ 1,226 kg/m ³
Presión dinámica	17,1 kgf/m ² @ 1,226 kg/m ³
Presión total	298 kgf/m ² @ 1,226 kg/m ³
Presión total	298 kgf/m ² @ 1,226 kg/m ³
Velocidad del aire	37,42 m/s
Velocidad de rotación	2935 rpm
Potencia consumida	13,6 kW @ 1,226 kg/m ³
Potencia consumida	13,6 kW @ 1,226 kg/m ³
Factor de servicio	10 %
Potencia instalada	15,0 kW (D160M 2 pole)
Rendimiento	71 %
Rendimiento estático	67 %
Montaje	4
Clase	-
Velocidad máxima (PD2)	0,875 (J) kgm ²
Peso	232 kg
Empuje axial	-50 N
Empuje en la descarga	397 N
Tiempo de arranque	3 s

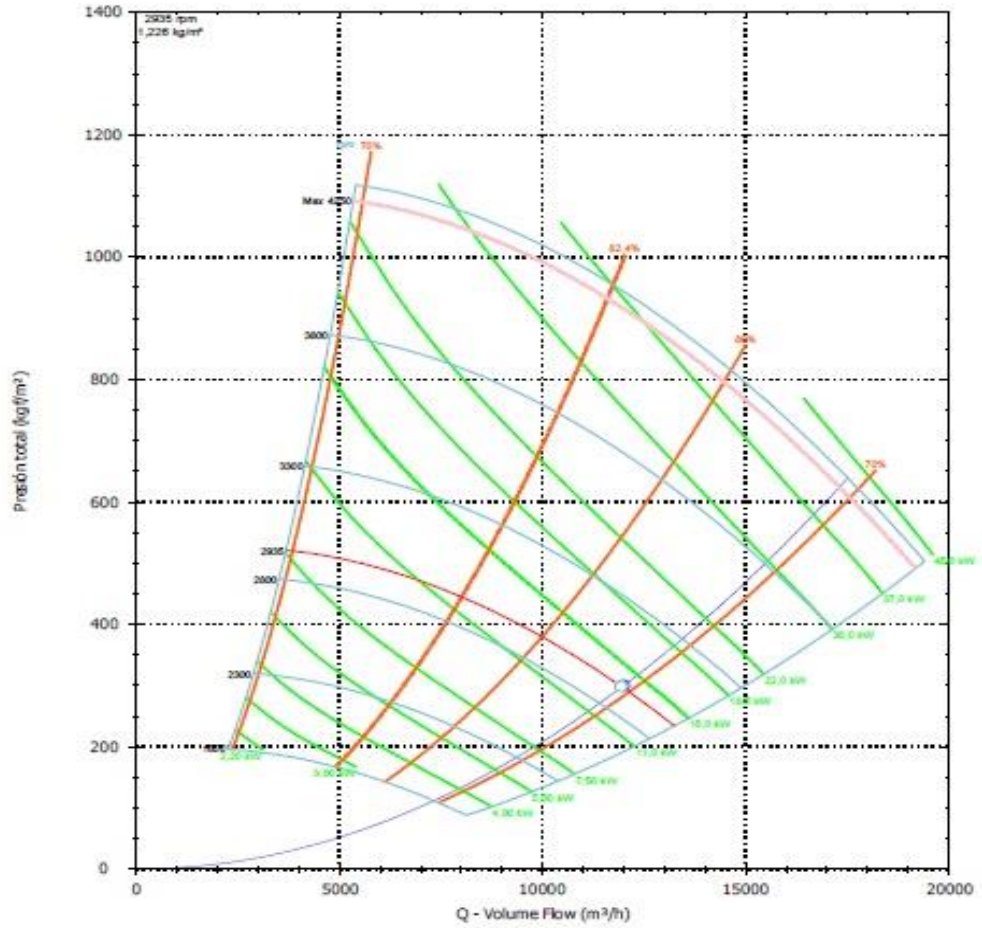
Datos técnicos

Inlet counter-flange CA x1
 Outlet counter-flange CP x1
 Inlet flexible connection GA/2-3 x1
 Outlet flexible connection GP/2-3 x1
 Inspection door PI x1
 Casing drain TS x1
 AV Mounts arr. 4 x1
 Outlet blades damper SA x1
 Manual control x1

Potencia sonora	101 dB Ambiente (Densidad=1,226 kg/m ³)								
Presión sonora	86 dB Ambiente (Densidad=1,226 kg/m ³ - Distancia=1m)								
Presión sonora	83 dBA Ambiente (Densidad=1,226 kg/m ³ - Distancia=1m)								
Frecuencia:	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
Potencia sonora en el	95	95	90	94	93	91	87	82	dB aspiración
Potencia sonora en el	99	99	94	98	97	95	91	86	dB descarga

Fecha	01/10/2015	E-Mail	
N° de oferta	XXX-V	Página Web	
Cliente	UJI	Artículo	1
Contacto	SARA ESTUPIÑÁ	Referencia	ART 561 N
Proyecto	PROYECTO UJI	Cant.	1

ART 561 N - Ventilador centrífugo directo



3.4 Compresor

Air

Air is an essential resource in all types of industries. Requirements in terms of quality, pressure and flow vary considerably depending on the application. Atlas Copco, as a world leader in compressed air, has an extended portfolio of oil-free and lubricated compressors covering most applications. We consistently offer quality products and the best support worldwide, from material definition up to commissioning and after-sales support. Whatever your needs, we have the right solution for you. On the following pages you can get a glimpse of our varied applications.

- Air separation plant
- Power plants
- Seismic research
- Pipelines & desalination plants
- Metal factories
- Aeronautics & car industry
- Breathing air
- Geothermy
- Turbine dewatering
- Circuit breakers



Desalination plants

Atlas Copco compressors were selected to keep surge vessels under pressure and protect the pumping stations from water hammer damage. Oil-free compressors were required as the air in the surge vessels is in contact with potable water. The compressors needed to be able to work in desert environments with high ambient temperatures. The compressors chosen delivered air from atmospheric pressure to respectively 80 bar (1160 psi), 77 bar (1117 psi) and 64 bar (928 psi) with flow rates ranging from 100 to 1500 Sm³/h (60-890 scfm). In another example, for a flow of 823 Nm³/h (490 scfm) at 12.5 bar (181 psi), the main compressor is electrically driven and the standby compressor is driven by a diesel engine.

AIR										
MODEL	Piston	Screw + piston	Oil-free	Oil-lubricated	Inlet pressure		Discharge pressure		Flow	
					(bar A)	(psi A)	(bar G)	(psi G)	(m ³ /h)	(cfm)
ZD		X	X		1	14.5	25-42	360-610	720-3000	424-2237
DA/DN	X		X		6-25	87-368	12-42	175-610	270-10200	165-6900
HA/HN	X		X		1-40	14.5-580	10-100	145-1450	120-15000	77-8800
FBR/SBR	X			X	1.5-60	22-688	250-310	3600-4600	410-7000	240-4120
CU/CT	X			X	1-19	14.5-280	<260	<5100	<1700	<1000
CN	X			X	1-1.35	14.5-20	<260	<5100	<80	51
B/D	X			X	1.5-3	22-45	17-500	250-7300	40-510	25-300
GA+CU/CT SEISMIC	X	X		X	1	14.5	150-220	2200-2200	<1800	<1000

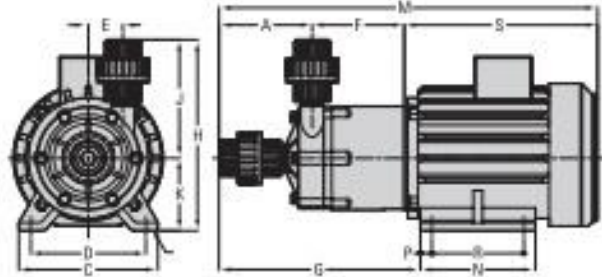


3.5 Bomba centrífuga



TM1C - 1/12 HP (0.06 W)

Dimensional Drawing:



1/12 HP				TM4H			
A	B	C	D	E	F	G	H
3.5 (89)	5.1 (130)	8.9 (225)	7.7 (195)	2.4 (60)	5.6 (142)	4.6 (116)	11.3 (286)
J	K	L	M	N	P	R	S
5.6 (142)	4.6 (116)	1.0 (25)	18.4 (467)	3.1 (79)	1.0 (25)	11 (180)	9.3 (236)

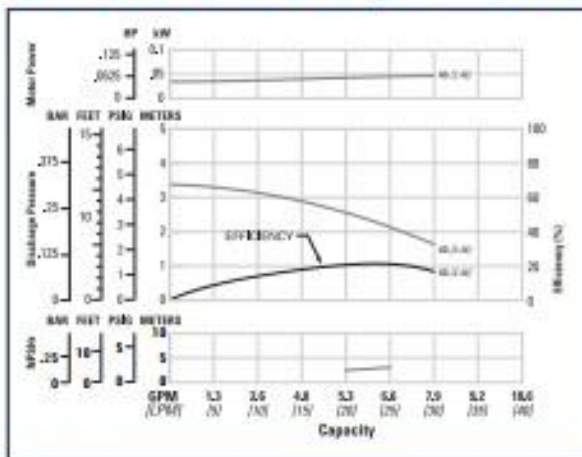
Note: The total length & weight of the pump will differ depending on the brand of the motor.

Temperature Limits:

- GFR-Polypropylene: 32°F to 175°F (0°C to 79°C)
- CFR-PVDF: 10°F to 194°F (-12°C to 90°C)
- EPDM: -60°F to 280°F (-51°C to 138°C)
- Viton: -40°F to 350°F (-40°C to 177°C)

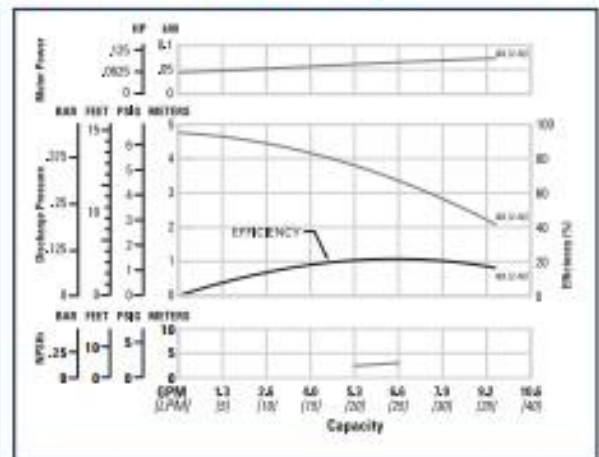
1/12 HP (0.06 W) - 50 Hz, 290 rpm

TM1C



1/12 HP (0.06 W) - 60 Hz, 360 rpm

TM1C



3.6 Mallas Platino/Rodio



PMGROUP DE COLOMBIA S.A. es una Compañía dedicada a la transformación y manufactura de metales preciosos. Somos miembros activos del Internacional Precious Metals Institute, Inc. - IPMI, y nuestro trabajo nos ha posicionado en el mercado como líderes a nivel de Centro y Suramérica.

La Compañía basa sus operaciones en los siguientes procesos:

- Transformación de metales preciosos.
- Refinación y recuperación de metales preciosos.
- Manufactura de mallas catalizadoras en aleaciones de metales preciosos.
- Manufactura de partes y piezas eléctricas y electrónicas.
- Investigación y desarrollo de nuevos procesos y productos.
- Soporte técnico y gestión comercial.

La investigación y desarrollo abarca diversos campos del proceso productivo, iniciando con el procesamiento del mineral crudo hasta la manufactura de los productos terminados, según especificaciones del cliente y cumpliendo con estándares internacionales. Las actividades científicas se enfocan al análisis químico cualitativo y cuantitativo, análisis mecánico, reciclo y procesado de cualquier forma de presentación de los metales preciosos y los residuos de oro, plata, platino y los elementos de su grupo tales como el rodio, el paladio y el iridio.

MALLAS CATALIZADORAS PARA OXIDACIÓN DE AMONÍACO

El proceso de oxidación de amoníaco se caracteriza por presentar una rápida reacción química superficial sobre un catalizador de platino, a una temperatura alrededor de 900 °C. La eficiencia del proceso radica en emplear un catalizador que provea una alta área superficial, con una estructura tridimensional de aleación homogénea de metales preciosos que resistan altas temperaturas, con una mínima pérdida de metales preciosos por volatilización y oxidación, garantizando siempre la menor caída de presión posible.

PMGROUP DE COLOMBIA S.A., además de las mallas en tejido sencillo multipunto, ha diseñado y desarrollado una nueva **malla catalizadora de doble textura** que incrementa la efectividad y desempeño de sus predecesoras, debido a que se trata de un doble tejido sobre el mismo plano de trabajo que implica un aumento de superficie de contacto en la misma área, aprovechando el espacio abierto entre bucle y bucle.

MALLA CATALIZADORA DP-HP DOBLE TEXTURA - ALTO DESEMPEÑO



Detalle del Tejido



PAD de Malla Doble Textura



Malla Doble Textura

% Área Abierta			
Malla Tricotada Sencilla	Malla Tricotada Doble Textura	PAD (2 Mallas Sencillas)	PAD (2 Mallas Doble Textura)
60%-65%	50%-53%	~43%	~20%

Parámetro	Malla Tricotada Sencilla en Pt	PAD Malla Sencilla 1034 en Pt	Malla Tricotada Doble Textura 1210 - 1034 en Pt
Carga Máxima (N)	20.7	36.4	61.2
Deformación Máxima (%)	20.6	32.4	5.3

Resultado obtenido para mallas de platino con hilo de 0.069 mm de diámetro.



Foto malla doble textura 1210-1034 en platino

Diámetro ± 0.003 (mm)	Aleación Pt:Rh		Aleación Pt:Rh:Pd 90:05:05					
	90:10	95:05	Superficie Especifica (m ² /Kg)	Superficie Especifica (m ² /Kg)	Superficie Especifica (m ² /Kg)	Gramaje Malla Doble Textura 1210 - 1034 ± 5% (Kg/m ²)	Gramaje Malla Sencilla 1034 ± 5% (Kg/m ²)	Área Superficial Doble Textura 1210 - 1034 (m ² /m ² malla)
0.062	3.23	3.12	3.23	0.6848	0.4669	2.12	1.51	
0.066	3.03	2.93	3.04	0.7760	0.5291	2.36	1.61	
0.069	2.90	2.80	2.91	0.8481	0.5783	2.46	1.68	
0.073	2.74	2.65	2.75	0.9493	0.6472	2.61	1.78	
0.078	2.56	2.48	2.57	1.0838	0.7389	2.79	1.90	
0.082	2.44	2.36	2.45	1.1978	0.8167	2.93	2.00	
0.087	2.30	2.22	2.30	1.3484	0.9193	3.11	2.12	
0.092	2.17	2.10	2.18	1.5078	1.0280	3.29	2.24	

3.7 Caldera de vapor



Soluciones integrales de vapor



- INICIO
- EMPRESA
- PRODUCTOS
- SERVICIOS
- DOCUMENTACIÓN
- ACTUALIDAD
- CONTACTO

CALDERAS DE VAPOR

El Generador de Vapor Clayton representa una tecnología avanzada de producción de vapor para cubrir todo tipo de aplicaciones de vapor. Su éxito se debe en gran medida a las **ventajas** operativas, de eficiencia y físicas de su diseño único desarrollado por Clayton y su constante desarrollo en los últimos 80 años. El diseño Clayton es intrínsecamente seguro, es extremadamente eficiente en consumo de combustible y puede suministrar vapor en 5 minutos desde su puesta en marcha en frío.

Actualmente, Clayton produce Generadores de Vapor con capacidades que van desde 150 kg/h hasta 20.000 kg/h de vapor de alta calidad con potencias de 10 BHP hasta 1300 BHP (98kW hasta 12.752 kW). Disponibles con presiones de diseño de hasta 200 bares. Estas unidades son calderas acuotubulares, de circulación forzada, construidas bajo los más estrictos estándares locales e internacionales, utilizando materiales y mano de obra de alta calidad. Las unidades están diseñadas para quemar gas natural, gasóleo, fuel oil, así como la combinación de éstos.

• E-series

Los Generadores de vapor Clayton de la gama E-series son capaces de cubrir las necesidades de vapor más exigentes y de ofrecer las máximas posibilidades de configuración.

E-Step Fire abarca pequeñas y moderadas potencias con quemadores por pasos



Modelo	Potencia kW	Producción vapor Kg/h
E-10	98	157
E-15	147	235
E-20	196	313
E-26	255	407
E-40	392	626
E-50	490	783
E-60	589	939



FICHA TÉCNICA 10 a 185 BHP

MODELO GENERADOR	UNID.	E-10	E-15	E-20	E-26	E-40	SE-40	E-50	SE-50	E-60	SE-60	E-80	SE-80	E-100	SE-100	E-125	SE-125	E-185	SE-185	
POTENCIA NETA	CARGA MÁXIMA	kW																		
	REGULACIÓN	%																		
ENTREGA MÁXIMA EQUIVALENTE VAPOR SATURADO (*)		kg/h																		
PRESIÓN NOMINAL DE OPERACIÓN DISPONIBLE HASTA (**)		bar																		
POTENCIA ELÉCTRICA DEL MOTOR	BOMBA DE AGUA	kW																		
	VENTILADOR	kW																		
RENDIMIENTO DE COMBUSTIÓN (***)	TIPO COMBUSTIBLE: G/GASOIL	%																		
	POSICIÓN 100%	%																		
CONSUMO A CARGA MÁXIMA	GAS - PCI = 37000 kJ/Nm ³	Nm ³ /h																		
	GASOIL - PCI = 42700 kJ/kg	kg/h																		
CONTENIDO EN AGUA (sistema agua y vapor generados)	LLENDO	L																		
	EN FUNCIONAMIENTO	L																		
SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO		m ²																		
PRESIÓN DE GAS REQUERIDA EN ENTRADA (****)		mbar																		
DIMENSIONES GENERALES DEL GENERADOR (aprox.)	LARGO	mm																		
	ANCHO	mm																		
	ALTO	mm																		
	PESO (vacio)	kg																		
DIMENSIONES GENERALES DE LA BOMBA (aprox.)	LARGO	mm																		
	ANCHO	mm																		
	PESO	kg																		
CONEXIÓN CHIMENEA (diámetro externo)		mm																		

NOTAS
 (*) A 1 bar (absoluto) con temperatura del agua de alimentación de 100 °C.
 (**) Disponible como estándar. Presiones superiores disponibles bajo demanda.
 (***) Basado en temperatura del agua de alimentación de 80 °C.
 (****) Valor constante ajustado por el usuario, basado en consumo máximo de gas y PCI indicado.

LA POLÍTICA DE CLAYTON SIENDO DE MEJORA CONTINUA, LOS DATOS INDICADOS ESTÁN SUJETOS A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO.

3.8 Reactor

LAMPE, LUTZ & CIA., EMPRESA, AVELLANEDA



Capacidades desde 10 hasta 50.000 litros.

Materiales de construcción: aceros *inoxidables*, *níquel* y sus *aleaciones*, *titanio*, *circonio*.

Presiones de trabajo: hasta 30 b

Aislación térmica de acuerdo a requerimientos del proceso

3.9 Rehervidor



Azeovaire

Steam Heated Vaporizer; Models: A160S through A4400S



- 100% turndown capability.
- Both LPG and steam fabrication are stamped in accordance with ASME.
- Explosion Proof configuration meets Class I, Division 1, Group D as defined by NFPA pamphlet 70.
- Factory Mutual (FM) approved.
- Two safety devices to ensure dry superheated vapor.
- Bayonet style tubes allow stress-free expansion unlike other designs.
- Fully insulated for maximum thermal efficiency.
- Ready to connect to plant facilities.
- Strainer included.
- Stainless steel outer heat exchanger tubes standard.

Revised 04.06.01



Specifications

	MODEL	A160S	A320S	A480S	A640S	A800S	A960S	A1120S	A1650S	A2200S	A3300S	A4400S
Vaporization Capacity**	kg/hr	305	610	920	1,230	1,535	1,840	2,150	3,170	4,220	6,330	8,450
	MM BTU/hr	15	29	44	58	73	87	102	150	200	300	400
	MM kcal/hr	3.7	7.3	11	15	18	22	26	38	50	76	101
Nominal Capacity	U.S. Gal/hr	180	320	480	640	800	960	1,120	1,650	2,200	3,300	4,400
Heat Exchanger Surface Area	ft ²	8	16	23	31	39	50	58	83	110	167	267
	m ²	.75	1.5	2.1	2.9	3.6	4.6	5.4	7.7	10.2	15.5	20.5
Shipping Weight	lbs	600	700	800	1100	1,150	1,500	1,750	2,000	2,400	3,000	3,400
	kg	272	318	369	506	529	690	805	920	1,090	1,364	1,545
Heat Exchanger Design Pressure	psig	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	kg/cm ²	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6
Heat Exchanger Test Pressure	psig	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375
	kg/cm ²	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3
Steam Requirements	psig	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	kg/cm ²	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Electrical	Vltg, 1 Ph Frequency	←			110/50 Hz 110/60 Hz			220/50 Hz 208-240/60 Hz			→	

3.10 Ficha de seguridad del amoníaco

AMONIACO (ANHIDRO) ICSC: 0414



MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA

AMONIACO (ANHIDRO)
Trihidruro de nitrógeno
NH₃
Masa molecular: 17.03



Nº CAS 7664-41-7
Nº RTECS BQ0875000
Nº ICSC 0414
Nº NU 1005
Nº CE 007-001-00-5



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	En caso de incendio en el entorno: usar medio de extinción adecuado.
EXPLOSION	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fría la botella por pulverización con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta. (Síntomas de efectos no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y atención médica. Respiración artificial si estuviera indicado.
• PIEL	Enrojecimiento, quemaduras, dolor, ampollas. EN CONTACTO CON LIQUIDO: CONGELACION.	Guantes aislantes del frío, traje de protección.	EN CASO DE CONGELACION: Aclarar con agua abundante. NO quitar la ropa y solicitar atención médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION			
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro; consultar a un experto; ventilación. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. Eliminar el gas con agua pulverizada. Protección personal: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de	A prueba de incendio. Separado de oxidantes, ácidos, halógenos. Mantener en lugar frío y bien ventilado.	Botellas con accesorios especiales. símbolo T símbolo N R: 10-23-34-50 S: (1/2)-9-16-26-36/37/39-45-61 Clasificación de Peligros NU: 2.3	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

AMONIACO (ANHIDRO)

ICSC: 0414

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Gas licuado comprimido incoloro, de olor acre.</p> <p>PELIGROS FISICOS El gas es más ligero que el aire.</p> <p>PELIGROS QUIMICOS Se forman compuestos inestables frente al choque con óxidos de mercurio, plata y oro. La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva (p.ej: Aluminio y zinc). Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y halógenos. Ataca el cobre, aluminio, cinc y sus aleaciones. Al disolverse en agua desprende calor.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 25 ppm; (como STEL): 35 ppm (ACGIH 2004). MAK: 20 ppm, 14 mg/m³; Categoría de limitación de pico: I(2), Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004)</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACION Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La evaporación rápida del liquido puede producir congelación.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p>
	<p>PROPIEDADES FISICAS</p> <p>Punto de ebullición: -33°C Punto de fusión: -78°C Densidad relativa (agua = 1): 0.7 a -33°C Solubilidad en agua: Buena (54 g/100 ml a 20°C) Presión de vapor, kPa a 26°C: 1013</p>	<p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.59 Temperatura de autoignición: 651°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 15-28</p>
DATOS AMBIENTALES	La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.	
NOTAS		
<p>Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un spray adecuado por un médico o persona por él autorizada. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape.</p> <p style="text-align: right;">Tarjeta de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1005 o 20G2TC Código NFPA: H 3; F 1; R 0;</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-030 AMONIACO (ANHIDRO)		Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.insht.es/
ICSC: 0414	© CCE, IPCS, 2005	AMONIACO (ANHIDRO)

4. Planos

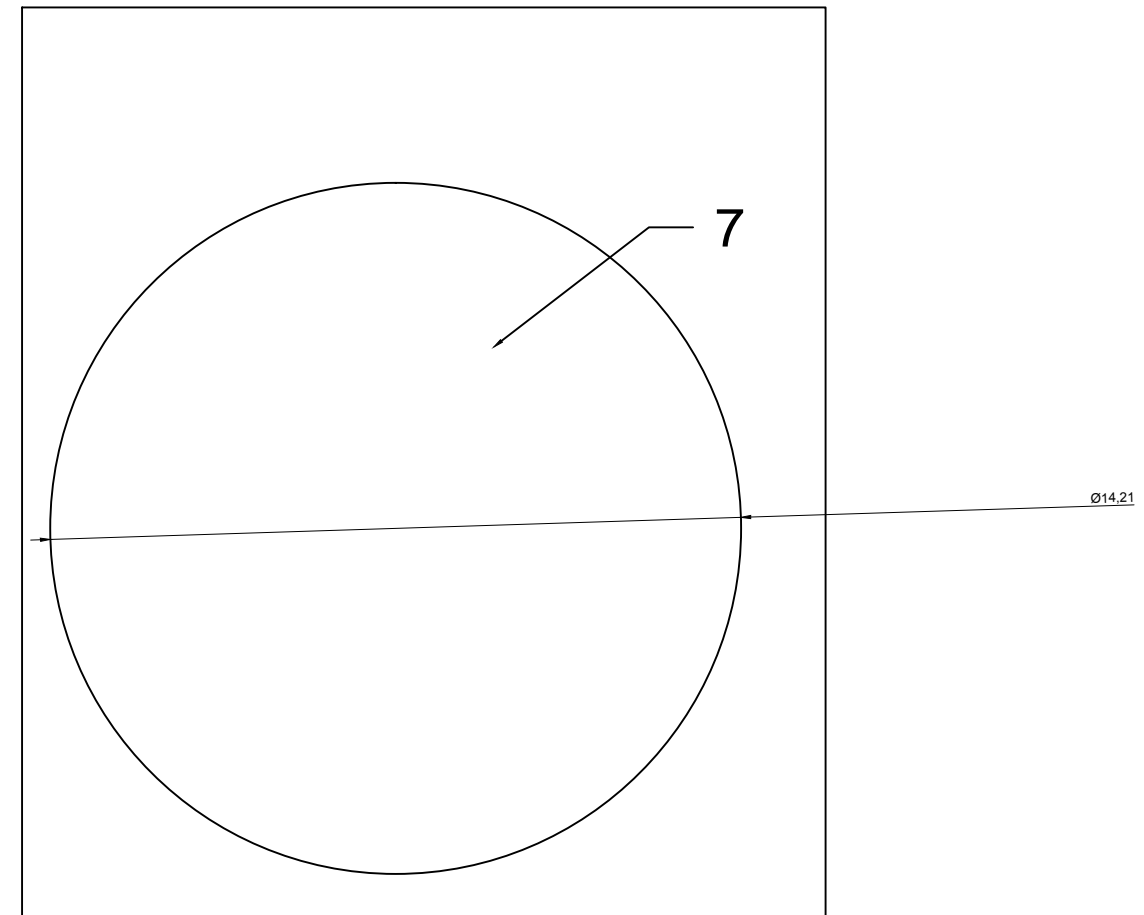
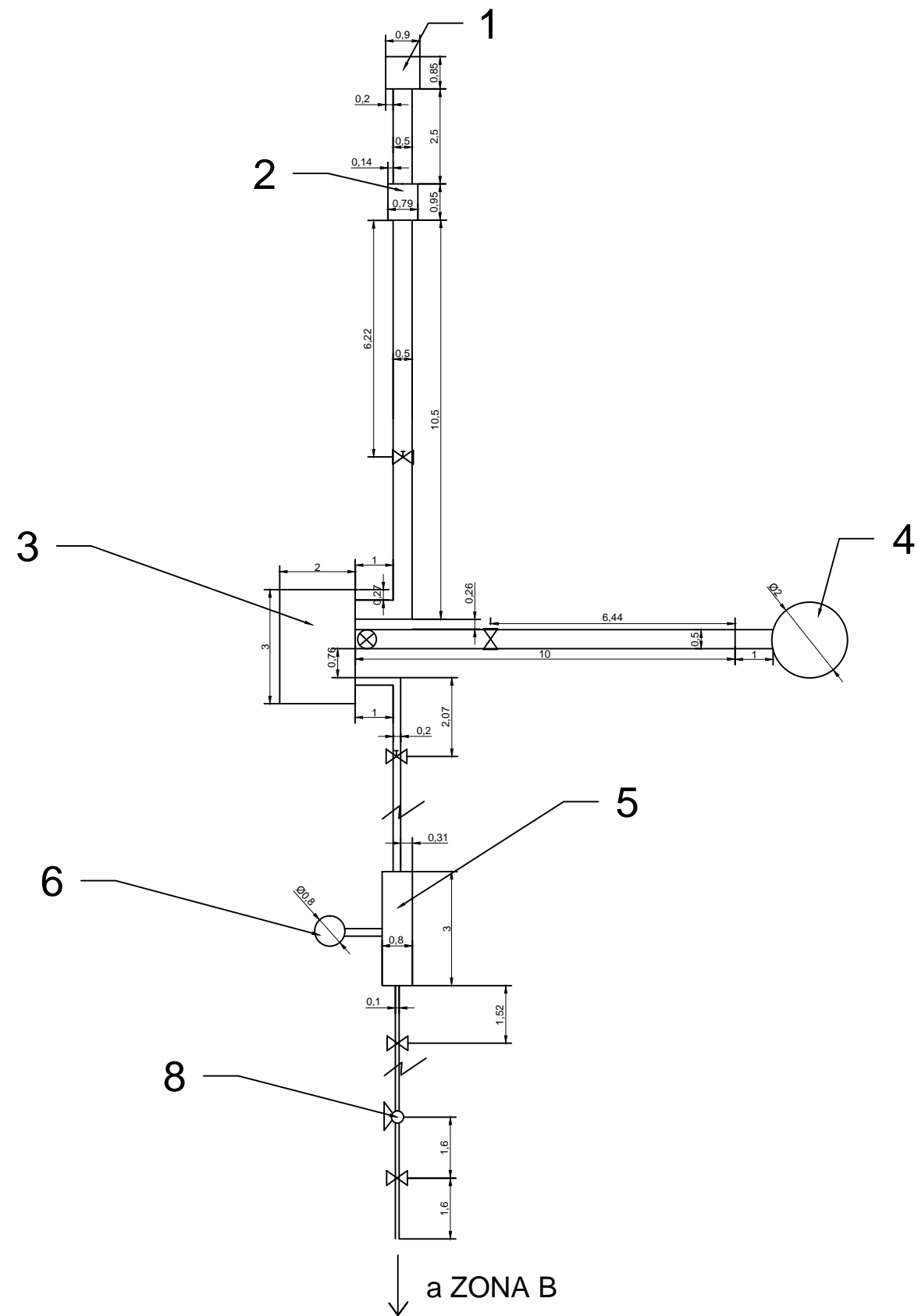
Índice

**1. DESCRIPCIÓN Y ACOTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA
INSTALACIÓN**

2. SITUACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN PLANTA

ZONA A

ZONA B



NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	Filtro de cartuchos, PC-8 TS XL (Ucersa Engineering)
2	Ventilador centrífugo directo, ART561N (Ferrari Industrial Technology)
3	Mezclador NM-2G (Witgass)
4	Reactor (LAMPE LUTZ&CIA)
5	Evaporador de amoníaco, A640S (Algas SDI)
6	Caldera E40 (Clayton)
7	Esfera de almacenamiento de Amoníaco (Felguera-IHI)
8	Bomba centrífuga, TMIC (T-MG Pumps)



Proyecto: Diseño de una instalación para la producción de gases nitrosos.

Localización: CASTELLÓN DE LA PLANA, CASTELLÓN

Plano N° 1

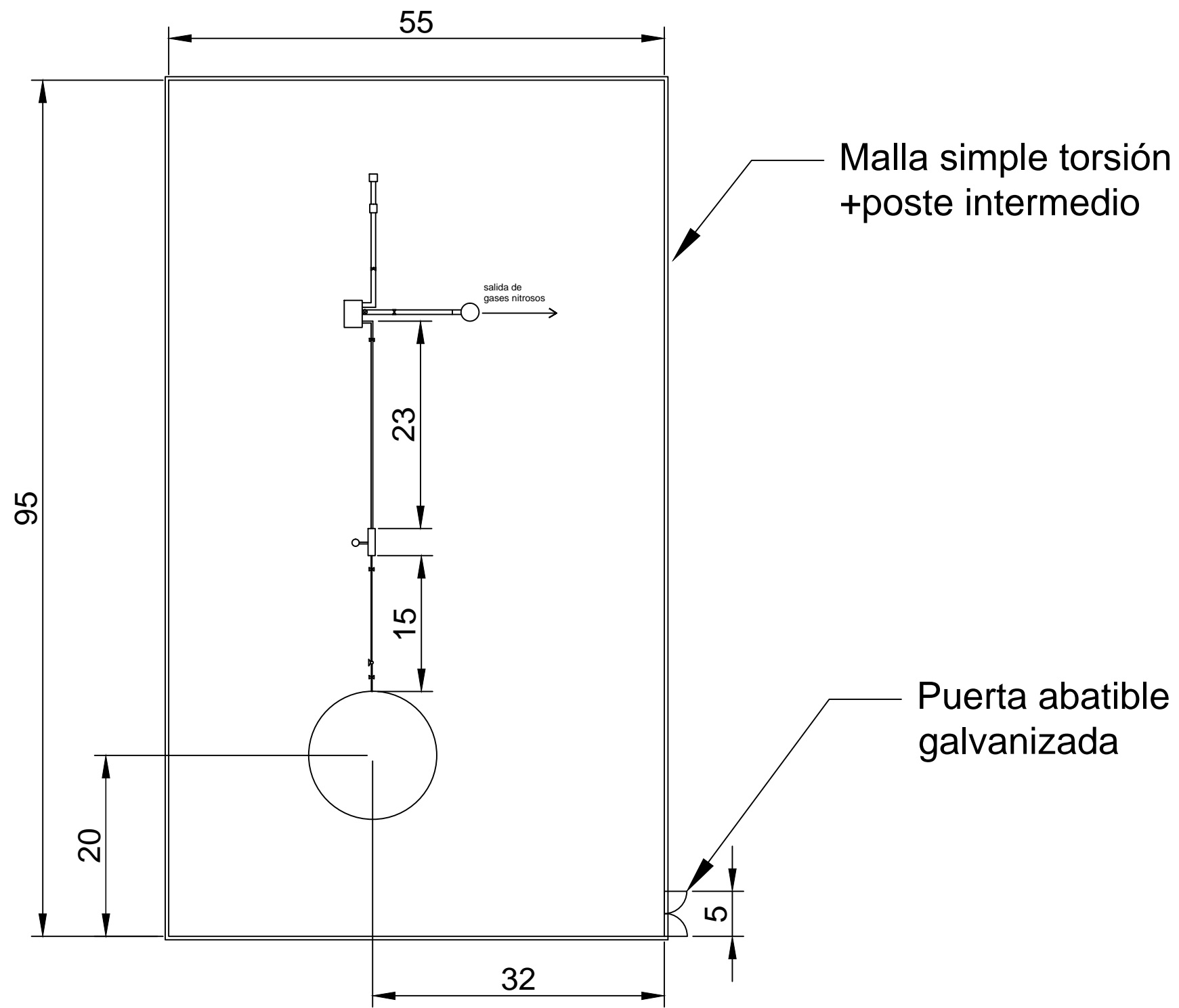
ESCALA
1/150

Plano: Descripción y acotación de los elementos de la instalación.

Fecha: Noviembre 2015

Autor: Sara Estupiñá Ariño

Unidades:m



Proyecto: Diseño de una instalación para la producción de gases nitrosos

Localización: CASTELLÓN DE LA PLANA, CASTELLÓN

Plano N° 2

ESCALA
1/500

Plano: Situación de los elementos

Fecha: Noviembre 2015

Autor: Sara Estupiñá Ariño

Unidades: m

5. Pliego de Condiciones

Índice

1. ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES E INSTALACIONES DE LAS OBRAS	2
1.1 Instalación de fontanería	4
1.2 Instalación eléctrica	5
1.3 Instalación de la maquinaria.....	6
2. ESPECIFICACIONES SOBRE EL CONTRATO ENTRE EL CONTRATISTA Y EL PROMOTOR	8
2.1 Ejecución de las obras y medios auxiliares.....	8
2.2 Responsabilidad del contratista	9
2.3 El Contrato	12
2.4 Modificaciones del Contrato: interrupciones y suspensiones	12
3. ESPECIFICACIONES ECONÓMICAS.....	15

1. ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES E INSTALACIONES DE LAS OBRAS

Los elementos y materiales utilizados para la puesta en marcha del proyecto son los siguientes:

- Amoníaco
- Aire atmosférico
- Tanque de almacenamiento del amoníaco
- Rehervidor tipo caldera
- Ventilador centrífugo
- Filtro de cartuchos
- Mezclador
- Reactor Químico
- Mallas catalíticas
- Bomba centrífuga
- Caldera
- Válvulas y accesorios de las conducciones

Para la correcta manipulación de las sustancias químicas tanto líquidos como gases, deberán seguirse las especificaciones que se encuentran en la ficha técnica de dicha sustancia.

En cuanto al amoníaco:

- No es compatible con materiales oxidantes, metales, bases y óxidos de metales.
- No se debe mezclar con gases oxidantes, cloro, bromo, hipoclorito de yodo mineral, halógenos, calcio y ácidos fuertes, mercurio, óxido de plata y compuestos explosivos enlatados.
- Debe ser utilizado en áreas ventiladas.

En cuanto a las mallas de platino/rodio se deben tener en cuenta algunas consideraciones:

- Si aparecen manchas negras en las mallas, estas están envenenadas debido a impurezas que arrastra la mezcla alimento y se tendrán que regenerar.
- Se deberán cambiar las mallas o regenerarlas cuando se llegue a haber tratado 3000 toneladas de amoníaco.

Estas consideraciones entre muchas otras que se encuentran en la ficha técnica del producto, son las que se deben tener en cuenta para una correcta manipulación y almacenaje de la sustancia.

Todos los materiales que entren en la formación de la obra, y para los cuales existan disposiciones oficiales que reglamenten la recepción, transporte, manipulación o empleo, deberán satisfacer las que estén en vigor durante la ejecución de las obras.

El Constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el Proyecto preceptúe una procedencia determinada.

Si por no cumplir las prescripciones del presente Pliego se rechazan los materiales que figuren como utilizables en los documentos informativos, el contratista tendrá la obligación de aportar otros materiales que cumplan las prescripciones, sin que por esto tenga derecho a un nuevo precio unitario. El contratista obtendrá a su cargo la autorización para la utilización de préstamos y se hará cargo además, por su cuenta, de todos los gastos, cánones, indemnizaciones, etc. que se presenten. Todos los materiales que se utilicen en la obra deberán ser de calidad suficiente a juicio del Director de la obra, aunque no se especifique expresamente en el Pliego de Condiciones.

El Constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra. Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero, cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones particular vigente en la obra. Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el aparejador o arquitecto técnico, pero acordando previamente con el constructor su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

Los demás materiales que se emplean en las obras objeto de este proyecto, y que no hayan sido específicamente tratados en el presente capítulo, serán de probada calidad entre los de su clase, en armonía con las aplicaciones que hayan de recibir y con las adecuadas características que exige su correcta conservación, utilización y servicio. Deberán cumplir las exigencias que figuran en la Memoria, Planos y Valoración de las Unidades de este Proyecto, así como las condiciones que, aun figurando explícitamente, sean necesarias para cumplir y respetar el espíritu en intención del proyecto.

En todo caso, estos materiales serán sometidos al estudio y aprobación, si procede, del Director de Obras, quién podrá exigir cuantos catálogos, referencias, muestras, informes y certificados que los correspondientes fabricantes estimen necesarios. Si la información no se considerase suficiente, podrán exigirse los ensayos oficiales oportunos de los materiales a utilizar.

1.1 Instalación de fontanería

Las tuberías serán del tipo, diámetro y presión de servicio que se indican en los Planos y Presupuestos de este Proyecto. Cumplirán las especificaciones contenidas dichos documentos.

Las piezas especiales, serán capaces de soportar presiones de prueba y trabajo iguales a las tuberías en que hayan de instalarse. El cuerpo principal de estos elementos, será del material indicado en los Planos, y si no se especificase en éstos, serán del material que garantice el fabricante de reconocida solvencia nacional, previa aprobación del Director de las obras, quien también ha de autorizar los modelos a utilizar. En todo caso, el acabado de las piezas especiales, será perfecto y de funcionamiento, durabilidad y resistencia. Deberán acreditarse mediante los oportunos certificados oficiales.

La superficie interior de cualquier elemento, sea tubería o pieza especial, será lisa, no pudiendo admitirse otros defectos de regularidad que los de carácter accidental o local que queden dentro de las tolerancias prescritas y que no representen ninguna merma de la calidad de circulación de agua. La reparación de tales desperfectos no se realizará sin la previa autorización del Director de obras.

Los tubos y demás elementos de las conducciones y redes, estarán bien terminados, con espesores regulares y cuidadosamente trabajados y deberán resistir sin daños todos los esfuerzos que estén llamados a soportar en servicio y durante las pruebas.

Los elementos que conduzcan agua potable, no producirán en ella, ninguna alteración de las cualidades organolépticas, físicas, químicas o bacteriológicas.

1.2 Instalación eléctrica

Las instalaciones eléctricas serán ejecutadas por la Empresa especializada, en posesión de todos los requisitos que establece la legislación vigente. Toda la documentación acreditativa será presentada por el Director de las Obras para que pueda emitir la oportuna autorización de comienzo de los trabajos.

Todo el personal que intervenga en cualquier ejecución en cualquier parte de las instalaciones eléctricas, aunque sea accesoria, deberá estar en posesión de los oportunos certificados de calificación profesional. Será condición necesaria para que la dirección autorice su intervención en los trabajos, la entrega de una copia, autenticada por la empresa especializada, de los certificados mencionados, así como la justificación de estar de alta en el Libro de Matrícula.

Antes de iniciar la obra, el Contratista presentará unos planos de detalle que indiquen preferentemente una situación real de los recorridos de canalizaciones y conductores. Al finalizar la obra, presentará los mismos planos corregidos en la forma como se hizo.

El Contratista realizará, firmará y presentará el proyecto eléctrico oficial a su cargo, para su redacción usará sus propios planos, pudiendo incorporar y usar los planos y documentos restantes que le son facilitados para la licitación y para idea general de la instalación a realizar. Por tanto el Contratista considera en sus precios unitarios, el coste de la documentación y trámites que se le solicitan.

El Contratista eléctrico coordinará con los suministradores de maquinaria en relación con la situación definitiva y con los accesorios de protección y mando que están incluidos con las máquinas, para que la instalación eléctrica en lace con la propia de la maquinaria, en función de las unidades de obra consideradas en electricidad.

Se cumplirán todas las precauciones necesarias para evitar accidentes durante las pruebas parciales o totales de las instalaciones eléctricas. No se permitirá que existan conductores o elementos que puedan transmitir energía eléctrica, sin los oportunos aislamientos, aun cuando no estén conexiónados o fuentes en servicio.

1.3 Instalación de la maquinaria

Todas las partes de la maquinaria que deben estar en contacto con los elementos a tratar, serán de material inalterable, con superficie lisa y fácilmente limpiable. De la misma manera, el exterior de la maquinaria deberá estar esmaltado o cubierto de material inalterable y sin ángulos entrantes que impidan una limpieza perfecta.

Los elementos móviles deberán estar provistos de los debidos dispositivos de protección para el manejo del operador. Los rendimientos de cada máquina se ajustarán a los que se han fijado en el Proyecto. Si en condiciones de trabajo normales una máquina, con fuerza de acondicionamiento suficiente y manejada de acuerdo con las instrucciones, no diera el rendimiento garantizado, se comunicará a la casa vendedora para que comunique las deficiencias y haga las modificaciones oportunas. Si en el plazo de un mes, estas deficiencias no fueran subsanadas, la casa se hará cargo de la maquinaria, puesta, embalada en la estación más próxima a la residencia del cliente, devolviendo el mismo importe que haya pagado, o suministrándole a elección de éste, en sustitución de la maquinaria retirada, otra de rendimiento correcto.

Serán de cuenta de la casa suministradora el transporte, embalaje, derechos de aduanas, riesgos, seguros e impuestos hasta que la maquinaria se encuentre en el lugar de su emplazamiento.

El montaje será por cuenta de la casa vendedora, si bien el promotor proporcionará las escaleras, instalación eléctrica, herramienta gruesa y material de albañilería, carpintería y cerrajería necesaria para el montaje, así como personal auxiliar para ayudar al especializado que enviará la empresa suministradora.

El plazo que para la entrega de maquinaria pacte el promotor con el vendedor de la misma, no podrá ser ampliado más que por causa de fuerza mayor, como huelgas, lock-out, movilización del ejército, guerra o revolución. Si el retraso es imputable a la casa vendedora, el promotor tendrá derecho a un 1% de rebaja en el precio por cada semana de retraso como compensación por los perjuicios ocasionados.

Será por cuenta de la entidad vendedora suministrar los aparatos y útiles precisos para ejecutar las pruebas de las máquinas y verificar las comprobaciones necesarias, siendo de su cuenta los gastos que originen éstas.

En cada máquina o grupo de máquinas, se establecerá una fecha de prueba con el objeto de poder efectuar la recepción provisional, para el plazo mínimo de garantía de un año, en el cual su funcionamiento ha de ser perfecto, comprometiéndose la empresa suministradora a reponer por su cuenta las piezas que aparezcan deterioradas a causa de una defectuosa construcción o instalación y a subsanar por su cuenta las anomalías o irregularidades de funcionamiento que impidan su uso normal.

2. ESPECIFICACIONES SOBRE EL CONTRATO ENTRE EL CONTRATISTA Y EL PROMOTOR

2.1 Ejecución de las obras y medios auxiliares

El contratista tiene la obligación de ejecutar esmeradamente las obras y cumplir estrictamente las condiciones estipuladas y cuantas órdenes verbales o estrictas le sean dadas por el Director de obra.

Si a juicio del Director de la obra, hubiese alguna parte de la obra mal ejecutada, el contratista tendrá la obligación de demolerla y volverla a ejecutar cuantas veces sea necesario hasta que merezca la aprobación del Director de la obra, no dándole estos aumentos de trabajo derecho a percibir indemnización de ningún género, aunque las malas condiciones de aquellas se hubiesen notado después de la recepción provisional.

Antes de efectuar cualquier unidad de obra en cantidad, el contratista deberá presentar una unidad, o las que considere necesarias la Dirección, completamente terminadas. El Contratista no tendrá derecho a abono alguno por la ejecución de estas muestras si no son aprobadas por la Dirección, ni por las demoliciones necesarias para la nueva ejecución, de acuerdo con las normas que dicte la Dirección a la vista de la muestra.

Serán de cuenta del Contratista los andamios, encofradas, cimbras y demás medios auxiliares de la construcción, no cumpliendo tanto responsabilidad alguna a la Dirección técnica, por cualquier acción o avería que pueda ocurrir en la obra por insuficiencia o defecto en la disposición de dichos medios auxiliares.

El Contratista entregará la obra con todas sus partes completamente terminadas y los servicios funcionando perfectamente, sin dejar residuos.

2.2 Responsabilidad del contratista

El Contratista será responsable del cumplimiento de todas las disposiciones oficiales, bien sean estatales, autonómicas, provinciales o municipales, relacionadas con la ejecución de las obras.

La Constructora está obligada a asegurar a su personal, con arreglo a la Legislación Laboral vigente, su maquinaria, medios auxiliares, acopiados, pero sin que estos gastos repercutan en la obra.

La Constructora está obligada a asegurar la obra contratada, durante todo el tiempo que dure su ejecución y hasta la recepción definitiva. La cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

La Constructora será la única y exclusiva responsable durante la ejecución de las obras, de todos los accidentes, daños o perjuicios, que puedan ocasionar a otras personas o entidades, así como de las infracciones a los Reglamentos y Ordenanzas locales, Derechos de Propiedad Industrial, etc.

Hasta la recepción definitiva, el Contratista es el exclusivo responsable de la ejecución de las obras que ha contratado y de las faltas que en ella puedan existir, sin que sirva de disculpa ni le dé derecho alguno sobre las circunstancias que la Dirección Facultativa haya examinado o reconocido la construcción durante su realización de los materiales empleados, ni aún el hecho de haber sido valoradas en certificados parciales.

En caso de producirse alguna avería, accidentes o hundimientos, el Contratista no podrá alegar falta de vigilancia en la dirección de obra o del personal a sus órdenes, para justificar los defectos de ejecución que hayan originado aquellos, puesto que la función del Director de Obra se limita a la emisión de directrices para la ejecución de las obras sin que les quepa responsabilidad por falta de cumplimiento de las mismas, ni aún en el plazo de que éstas puedan considerarse aparente, correspondiéndole la responsabilidad en todo caso y por entera al Contratista.

En la ejecución de las obras que haya contratado, el contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio, a que pudiera costarle, ni por las erradas maniobras que cometiese durante la construcción, siendo de su cuenta y riesgo e independiente de la inspección del Director de obra.

Si el contratista causase algún desperfecto en propiedades colindantes tendrá que restaurarlas por su cuenta dejándolas en el estado que las encontró al dar comienzo la obra. El contratista estará obligado a reponer cualquier parte de la obra que se deteriore durante la ejecución del proyecto.

No se considerará como justificación de demora en la terminación de las obras, ninguna causa que no sea de absoluta fuerza mayor, no estimándose como tal los días de lluvia, siempre y cuando el número de éstos no sea superior al promedio de los 10 últimos años, haciéndose extensiva esta determinación para las nevadas, hielos y otros fenómenos de naturaleza análogos. Por la inobservancia de cuanto antecede, la Constructora incurre en las sanciones que se estipulen. No serán motivo de reclamación alguna por parte de la Constructora, los deterioros o pérdidas producidas en maquinaria, medios auxiliares, a causa del terreno y otras circunstancias durante la ejecución de las diferentes unidades de obra contratadas, o de aquellas que la Dirección Técnica ordene realizar.

Si fueran previsibles estos daños, la Constructora lo comunicará por escrito a la Propiedad y a la Dirección Técnica, al menos con 10 días de antelación, pudiendo ser reintegrado el importe de los gastos que serán valorados a juicio de la Dirección Técnica. La Constructora, queda obligada a satisfacer el Seguro contra incendios de las obras hasta la Recepción Definitiva de las mismas.

La Constructora no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de ejecución de las obras, previamente fijados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Técnica, excepto en el caso de que en el uso de sus facultades que este artículo le confiere, los haya solicitado por escrito y no le hayan sido entregados. De no ser así, será responsable de dichos retrasos y se sujetará a las sanciones y amonestaciones que se estipulen en el contrato.

Los retrasos e interrupciones no imputables al Contratista serán previamente solicitados por éste y autorizados por el órgano de gobierno, previo informe de la Dirección de obra, haciéndolo constar así en el libro de órdenes. A los efectos de posibles sanciones, la Dirección de obra, informará en su día de dichas autorizaciones y sus causas, quedando todo ello sometido finalmente a lo que establece el art. 137 y siguientes del Reglamento de Contratación del Estado.

Los retrasos imputables al contratista llevarán consigo pérdidas del derecho a revisión de precios en el periodo comprendido entre el final del plazo y la terminación real de la obra.

Las sanciones por incumplimiento del plazo serán las establecidas en el Pliego de Condiciones Administrativas que rijan la adjudicación.

En el Acta de Recepción Provisional, se hará constar el estado de terminación, respecto al Proyecto y órdenes complementarias de la Dirección Técnica, así como todas las diferencias u omisiones que se observen, emplazándose a la Constructora para que se subsane y corrija las deficiencias encontradas, que por no ser sustanciales no hayan impedido la Recepción fijándose un plazo breve para corregirla.

Desde la fecha de Recepción Provisional, comienza a contarse el plazo de garantía, durante el cual responde la Constructora de los defectos que aparecieran y que no se deban al mal uso por parte de la propiedad u ocupantes de la obra. Dicho plazo se suspende si se observasen deficiencias de carácter grave, volviendo a contarse una vez subsanadas éstas.

Cuando las obras no se encuentren en estado de ser recibidas se hará constar en el Acta y se especificarán en la misma las precisas y detalladas instrucciones que la Dirección Técnica debe señalar a la Constructora para remediar defectos observados, fijándose un plazo para subsanarlos. Expirado éste, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder a la recepción provisional de las obras. Si el Contratista no hubiera cumplido se estará en un supuesto de rescisión del contrato, indemnización o multa alternativa.

Cuando por causa directa de una mala ejecución de parte de obra, falta de protección o delimitación adecuada de la misma o cualquier otra causa que sea imputable al contratista, se produzca la obligación de indemnizar, esta indemnización será por cuenta exclusiva de dicho contratista.

Al abandonar la constructora el área de trabajo, tanto por la buena terminación de las obras como en el caso de rescisión del Contrato, está obligada a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que la Dirección Técnica fije.

2.3 El Contrato

La Propiedad y el Contratista formalizarán el Contrato mediante un documento privado o público, a petición de cualquiera de las partes, con arreglo a las disposiciones legales vigentes. Ambos, antes de firmar el Contrato, aceptarán y firmarán el Pliego de Condiciones.

En el Contrato se acordarán y especificarán las condiciones y particularidades que convengan ambas partes y, todas aquellas que sean necesarias como complemento de este Pliego: plazos, porcentajes, revisión de precios, causas de rescisión, liquidación por rescisión, arbitrajes, etc.

2.4 Modificaciones del Contrato: interrupciones y suspensiones

Cuando se produzca una paralización de las obras cuya duración se prevea que puede exceder de seis meses o de la quinta parte del plazo total de ejecución, se extenderá un Acta de interrupción firmada por la Dirección Facultativa y el Contratista o su Delegado.

En la referida Acta se enumeran, exhaustivamente, las causas de la interrupción. Una vez que puedan reanudarse las obras, la reanudación se documentará y tramitará con las mismas formalidades que las previstas para su interrupción.

Si la interrupción fuera motivada por causa imputable al Contratista, el incumplimiento de los plazos parciales o del total deja en suspenso la aplicación de la cláusula de revisión de precios y, en consecuencia, el derecho a la liquidación por revisión de obra ejecutada en mora, que se abonará a los precios primitivos del contrato. Sin embargo, cuando restablezca el ritmo de ejecución determinado por los plazos parciales, recuperará, a partir de ese momento, el derecho a la revisión en las certificaciones sucesivas.

Cuando se produjera la interrupción por causas no imputables al Contratista, si éste solicitara dentro del plazo contractual de ejecución de la obra prórroga del mismo, podrá concedérsele un plazo igual al de interrupción, salvo que solicite uno menor.

Si la Propiedad acordara la ejecución del Contrato, se formalizará mediante Acta de Suspensión firmada por la Dirección Facultativa y el Contratista, en la que se reflejarán las causas motivadoras de la suspensión.

Si por causas no imputables al Contratista o por decisión de la Propiedad se produjese la suspensión definitiva de las obras, el Contratista tendrá derecho al valor de las efectivamente realizadas, a la revisión de precios prevista por la parte de obra ejecutada, en su caso, y al beneficio industrial del resto.

En el caso de que la suspensión fuese de carácter temporal, por tiempo superior a la quinta parte del plazo total del Contrato, el Contratista tendrá derecho a revisión de precios de la obra ejecutada y a la indemnización de los daños y perjuicios que se le hubieren irrogado por esta causa. Si la suspensión fuese por plazo inferior, sólo tendrá derecho a la revisión de precios. En cualquier caso, de los expuestos, se aplicarán los coeficientes que correspondan a las fechas en que se ejecutaron las obras.

Cuando sea necesario modificar alguna característica o dimensión de los materiales a emplear en la ejecución de alguna unidad de obra de la que figura precio en el Contrato y ello no suponga un cambio en la naturaleza ni en las propiedades intrínsecas de las materias primas que lo constituyen, por lo que dicha modificación no implica una diferencia sustancial de la unidad de obra, la Dirección Facultativa fijará Precio Nuevo a la vista de la propuesta y de las observaciones del Contratista.

Estos Precios Nuevos se calcularán por interpolación o extrapolación entre los precios de unidades de obra del mismo tipo que figuren en los Cuadros de Precios del Contrato, en función de los precios de mercado del material básico que se modifica.

3. ESPECIFICACIONES ECONÓMICAS

Todas las unidades de obra se medirán y abonarán por volumen, superficie, longitud, peso o unidad, de acuerdo a como figuran especificadas en la Valoración de Unidades de Obra.

Para las unidades nuevas que puedan surgir y para las que sea preciso la redacción de un precio contradictorio, se especificarán claramente al acordarse éste el modo de abono, en otro caso, se establecerá lo admitido en la práctica habitual o costumbre de la construcción.

Si el Contratista construye mayor volumen de cualquier clase de fábrica que el correspondiente a los dibujos que figuran en los Planos, o de sus reformas autorizadas (ya sea por efectuar mal la excavación, por error, por su conveniencia, por alguna causa imprevista o por cualquier otro motivo) no será de abono ese exceso de obra.

Si a juicio del Director de las Obras, ese exceso de obra resultase perjudicial, el Contratista tendrá la obligación de demoler la obra a su costa y rehacerla nuevamente con las dimensiones debidas.

En caso de que se trate de un aumento excesivo de excavación, que no pueda subsanarse con la demolición de la obra ejecutada, el Contratista quedará obligado a corregir este defecto, de acuerdo con las Normas que dicte el Director de Obras, sin que tenga derecho a exigir indemnización por estos trabajos.

Siempre que no se siga expresamente otra cosa en las Valoraciones de unidades de obra o en el Pliego de Condiciones Técnicas, se consideran incluidos precios de las valoraciones de Obra, los agotamientos, las entibaciones, los rellenos del exceso de excavación, el transporte al vertedero de los productos sobrantes, el montaje, las pruebas que sean necesarias, la limpieza de las obras, los medios auxiliares y todas las operaciones necesarias para terminar perfectamente la unidad de obra que se trate.

Es obligación del Contratista la conservación de todas las obras y por consiguiente, la reparación o reconstrucción de aquellas partes que hayan sufrido daños o que se compruebe que no reúne las condiciones exigidas por este Pliego. Para estas reparaciones se atenderá estrictamente a las instrucciones que reciba del Directos de las Obras.

Esta obligación del Contratista de la conservación de todas las obras, se extiende igualmente a los acopios que se hayan certificado, Corresponden pues, al Contratista, el almacenaje y guardería de los acopios y reposición de aquellos que se hayan perdido, destruido o dañado, cualquiera que sea la causa. En ningún caso el Contratista tendrá derecho a reclamar fundándose en insuficiencia de precios o en falta de expresión, en la Valoración de la Obra o en el Pliego de Condiciones, explícita de algún material u operación necesaria para la ejecución de una unidad de obra.

6. Estado de Mediciones

Índice

1. ESTADO DE MEDICIONES	2
1.1 Elementos participantes en el proceso de obtención de gases nitrosos	2
1.2 Obra civil.....	4

1. ESTADO DE MEDICIONES

El estado de mediciones constituye el sexto documento básico del proyecto. Este documento tiene como misión definir y determinar las unidades de cada partida o unidad de obra que configuran la totalidad de la instalación objeto del proyecto. Recoge una serie de elementos como el número de unidades, modelos, características, dimensiones, etc. de las unidades que son necesarias para la puesta en marcha y construcción de la planta.

1.1 Elementos participantes en el proceso de obtención de gases nitrosos

En la *tabla 1.1* se muestra el estado de mediciones de los equipos de la planta así como de las conducciones y accesorios.

Tabla 1.1 Estado de mediciones para equipamiento de la planta.

Elemento	Unidades
Esfera de almacenamiento de amoníaco líquido para una capacidad de 1500m ³ con un diámetro interior de 14,21m. Envolvente esférica fabricada de acero SA 516 Grade 70, de Felguera-IHI.	1
Filtro de cartuchos para la depuración de aire atmosférico de 12000 kg/h de caudal. Micro fibra de celulosa como material filtrante .Dimensiones en metros 1,9x0,9x0,85 .Modelo PC-8 TS XL de Ucersa engineering.	1
Ventilador centrífugo directo para la impulsión de aire atmosférico al mezclador. Caudal 12000kg/h .Potencia instalada 15KW .Dimensiones en metros 0.95x1.4x0.79 Modelo ART 561 N , de Ferrari Industrial Technology.	1
Evaporador de amoníaco del tipo rehervidor con caldera para una caudal de 1000kg/h .Diámetro de 0.8m y longitud de 3m aprox. Modelo A640S,de Algas.SDI.	1

Mezclador amoníaco gas y aire con un caudal total de 13000kg/h .Dimensiones en metros 1,5x2x3 .Potencia 92 kW. Modelo estimado MM-2G,de WITGASS.	1
Compresor para un caudal de 13000 kg/h de la mezcla amoníaco gas/aire atmosférico. Potencia 1300KW .Modelo HX/HN de Atlas Copco.	1
Bomba centrífuga para la impulsión de amoníaco líquido con un caudal de 1000kg/h. Potencia 0.06W, Modelo TM1C, de T-Mag Pumps.	1
Caldera de generación de vapor de agua para un caudal de 626 kg/h con una potencia de 392KW.Modelo E40 de 0.8m de diámetro y 1.5m de alto de Clayton Inovate Steam Sistem Solutions.	1
Reactor de capacidad 27000 litros. Dimensiones: 2m de diámetro y 8,6m de alto. Material de acero inoxidable austenítico 304 y recubrimiento adiabático , de LAMPE LUTZ & CIA	1
Mallas platino/rodio de 2m de diámetro y 0,078mm de espesor, de PM Groupusa.	12
Válvula diafragma para la conducción de amoníaco líquido de 0,1m de diámetro.	2
Válvula mariposa para la conducción de amoníaco gas de 0,2m de diámetro.	1
Válvula mariposa para la conducción de aire de 0,5m de diámetro.	1
Válvula de compuerta abierta para la mezcla amoníaco gas /aire por una conducción de 0,5m de diámetro.	1
Codo 90° para una conducción de 0,5 m de diámetro.	3
Codo 90° para una conducción de 0,2 m de diámetro.	1
Racor de tubería para la conducción de aire atmosférico entre el filtro y el ventilador de acero galvanizado de 0,5 m de diámetro y 2,5 m de longitud.	-
Tubería para la conducción de aire atmosférico entre el ventilador y el mezclador de acero galvanizado de 0,5m de diámetro y 11 m de longitud.	-

Tubería para la conducción de amoníaco líquido entre la esfera de almacenamiento y el rehervidor de acero comercial de 0.1 m de diámetro y 10 m de longitud.	-
Tubería para la conducción de amoníaco gas entre el rehervidor y el mezclador de acero comercial de 0,2 m de diámetro y 23 m de longitud.	-
Tubería para la conducción de la mezcla amoníaco gas/aire atmosférico entre el mezclador y el reactor de acero galvanizado de 0,5m de diámetro y 19 m de longitud.	-

1.2 Obra civil

En la *tabla 1.2* se muestra la superficie de la parcela.

Tabla 1.2 Estado de mediciones para la obra civil

Elemento	Superficie (m ²)
Obra civil e instalaciones (vallado, instalación de agua, electricidad, red de saneamiento ,etc.)	5.225

7. Presupuesto

Índice

1. PRESUPUESTOS DE EQUIPOS, CONDUCCIONES Y ACCESORIOS.	2
2. PRESUPUESTO DE OBRA CIVIL	5
3. PRESUPUESTO DE INSTALACIONES, MATERIALES Y MONTAJE.....	6
4. PRESUPUESTO TOTAL	8

1. PRESUPUESTOS DE EQUIPOS, CONDUCCIONES Y ACCESORIOS

En este apartado se expondrán los precios de todos los equipos así como los accesorios necesarios para las conducciones que forman parte de la instalación de forma detallada. La *tabla 1.1* hace referencia a los precios de los equipos de tratamiento de aguas y la *tabla 1.2* a las conducciones y accesorios que contiene.

Tabla 1.1 Presupuesto de equipos de la instalación

Elemento	Unidades	Precio unitario(€)	Importe (€)
Esfera de almacenamiento	1	2.800.000,00	2.800.000,00
Filtro de cartuchos	1	14.960,00	14.960,00
Ventilador centrífugo	1	3.000,00	3.000,00
Rehervidor	1	9.714,28	9.714,28
Mezclador de gases	1	15.466,00	15.466,00
Compresor	1	774.180,95	774.180,95
Bomba centrífuga	1	290,00	290,00
Caldera de producción de vapor de agua.	1	17.000,00	17.000,00
Reactor	1	58.000,00	58.000,00
Mallas platino/rodio	12	5.248,96	6.2987,57
		Total (€)	3.755.598,80

Tabla 1.2 Presupuesto de conducciones y accesorios

Elemento	Unidades	Longitud	Precio unitario(€)	Importe (€)
Accesorios tales como manómetros, controladores de operación	10	-	200,00	200,00
Válvula diafragma D=0,1 m	2	-	184,44	184,44
Válvula mariposa, D=0,5 m	1	-	1100,10	1.100,0
Válvula mariposa, D=0,2 m	1	-	320,90	320,90
Válvula de compuerta, D=0,5m	1	-	1400,02	1.400,02
Codo 90 ° estándar, acero galvanizado D=0,5m	1	-	298,00	298,00
Codo 90 ° estándar, acero comercial D=0,2m	1	-	137,81	137,81
Suministro de tubería de acero galvanizado, D=0,5m en unidades de 6,4 m de longitud	5	30 m	10275,9	51.379,5
Suministro de tubería de acero comercial, D=0,1m en unidades de 1m de longitud	10	10 m	818,52	818,52

Suministro de tubería de acero comercial, D=0,2m en unidades de 1 m de longitud	23	23m	2463,18	56.653,14
Racor de tubería de acero galvanizado, D=0,5m en unidades de 2,5 m	1	2,5m	200,00	500,00
			Total (€)	112.992,33

El presupuesto en equipos, conducciones y accesorios asciende a 3.868.591.13 €.

2. PRESUPUESTO DE OBRA CIVIL

En este apartado el presupuesto reflejará el coste de construcción de la nave .Se ha de tener en cuenta que la instalación del presente proyecto requiere de una nave descubierta debido a la gran magnitud de la instalación y a la utilización de líquidos y gases fácilmente inflamables que requieren estar en instalaciones al aire libre. Por tanto en este caso se tendrá en cuenta el coste del vallado y la puerta de acceso. En la *tabla 2.1* se muestra el presupuesto de los elementos citados.

Tabla 2.1 Presupuesto de la obra civil

Obra civil	
Superficie total de la planta (m ²)	5.225
Perímetro total de la planta (m)	300
Perímetro de vallado (m)	295
Precio valla (€/m)	22
Coste vallado (€)	6.490
Coste puerta (€)	350
Coste total (€)	6.840

El presupuesto total de la obra civil que en este caso es el vallado de la parcela asciende a 6.840 €.

3. PRESUPUESTO DE INSTALACIONES, MATERIALES Y MONTAJE

Además de los costes de los equipos, un aspecto muy importante a tener en cuenta es el coste tanto de su montaje como de la instalación de una red eléctrica para que puedan funcionar correctamente. Estos costes se pueden calcular mediante ratios que ofrece el colegio de ingenieros industriales de la Comunidad Valenciana, IICV.

Para calcular el coste de mano de obra se establece un 15% del precio de los equipos principales. En esta instalación se consideran como equipos importantes el reactor, el rehervidor, el filtro de cartuchos y el mezclador. En la *tabla 3.1* se muestra el coste de la mano de obra.

Tabla 3.1 Coste de la mano de obra

Equipo	Unidades	Precio Unitario(€)	Importe (€)
Reactor	1	58.000,00	58.000,00
Rehervidor	1	9.714,28	9.714,28
Filtro de cartuchos	1	11.460,00	11.460,00
Mezclador	1	15.466,00	15.466,00
Suma del precio de los equipos (€)			94.640,28
15% del precio de los equipos(€)			14.196,04

Para la instalación de la red eléctrica el IICV establece una serie de rangos en función de la potencia eléctrica instalada. Los rangos son:

$$P < 50 \text{Kw}$$

$$50 \text{kW} < P < 650 \text{ kW}$$

$$P > 650 \text{ kW}$$

En este caso la potencia instalada en la instalación es sobre unos 1400 kW, por lo que el dato a emplear es el del tercer rango, el cual es 0,25 €/kW. Así pues el coste de la instalación eléctrica es de 350.000€.

Para la instalación de red de agua el IICV establece de 6-9 €/m² de nave. Por tanto, para 5225 m² considerando 6€/m² de nave, se obtiene un coste por instalación de red de agua de 31.350 €.

Por tanto la suma de los costes de mano de obra, de la instalación eléctrica y de la instalación de red de agua dará el presupuesto total de instalaciones, materiales y montaje.

En la *tabla 3.2* se muestra el presupuesto de las instalaciones, los materiales y el montaje.

Tabla 3.2 Presupuesto de instalaciones, materiales y montaje.

Coste de la mano de obra (€)	14.196,04
Coste de la instalación eléctrica (€)	350.000,00
Coste de la instalación de red de agua	31.350,00
Coste total de instalaciones , materiales y montaje (€)	395.546,04

Por tanto el presupuesto de instalaciones, materiales y montaje asciende a 395.546,04 €.

4. PRESUPUESTO TOTAL

El presupuesto total también se conoce como Presupuesto de Ejecución Material (PEM) y se define como la suma de los presupuestos parciales. Representa el coste del objeto del proyecto y es el precio que le cuesta al contratista ejecutar la obra.

En la *tabla 4.1* se muestran los presupuestos parciales calculados anteriormente, así como el presupuesto total.

Tabla 4.1 Presupuesto total.

Presupuesto	Importe(€)
Presupuesto de equipos ,conducciones y accesorios	3.868.591,13
Presupuesto de obra civil	6.840,00
Presupuesto de instalaciones, materiales y montaje.	395.546,04
PEM	4.270.977,17

Una vez calculado el presupuesto total se calcula el PEC parcial o Presupuesto de Ejecución por Contrata el cual tiene en cuenta los gastos generales y de licencia, un presupuesto de seguridad y salud laboral y un presupuesto de tratamiento y vertido de residuos.

En primer lugar se añade el 20% debido a gastos generales y licencias que se muestra en la *tabla 4.2*.

Tabla 4.2 Aplicación del 20% debido a gastos generales y licencias

PEM (€)	4.270.977,17
20% de gastos generales y licencias(€)	854.195,43
Total(€)	5.125.172,60

Una vez aplicado el porcentaje del 20% debido a los gastos generales y licencias, se debe aplicar por ley un presupuesto de seguridad y salud laboral del 3% que se recoge en la *tabla 4.3*.

Tabla 4.3 Aplicación del 3% del presupuesto de seguridad y salud laboral

PEM + 20% (€)	5.125.172,60
3% de seguridad y salud laboral	153.755,17
Total (€)	5.278.927,77

De la misma forma se añade un presupuesto de tratamiento y vertido de residuos del orden del 3%, que se muestra en la *tabla 4.4*.

Tabla 4.4 Aplicación del 3% del presupuesto de tratamiento y vertido de residuos

PEM + 20% + 3% (€)	5.125.172,60
+3% de tratamiento y vertido de residuos(€)	158.367,83
PEC parcial(€)	5.283.540,433

Una vez calculado este valor, que como se ha explicado antes se le conoce como PEC parcial se calcula el PEC, el cual incluye el valor del I.V.A.

Por tanto al valor calculado se le suma un 21%, que se encuentra detallado en la *tabla 4.4*.

Tabla 4.4 Aplicación del 21% de I.V.A.

PEC parcial (€)	5.283.540,43
+21% I.V.A (€)	1.109.543,49
PEC(€)	6.393.083,92

El presupuesto total del proyecto asciende a **SEIS MILLONES TRESCIENTOS NOVEINTA Y TRES MIL OCHEINTA Y DOS CON NOVEINTA Y DOS EUROS**.

8. Estudios con entidad propia

Índice

1. LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES	2
2. IMPACTO AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA	10

1. LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

La Seguridad y Salud laboral ha ido aumentando su importancia en los últimos años, tanto a nivel legislativo como de formación y de publicaciones. Se ha pasado de considerar los temas de seguridad como algo exclusivo de una persona, dedicando el coste mínimo para intentar evitar consecuencias graves de los accidentes, a una filosofía basada en que la seguridad debe estar omnipresente en todos los trabajadores y actividades, además de actuar siempre a priori, es decir, basar las actuaciones en una política preventiva.

A continuación se presentan algunas definiciones generales de algunos conceptos de Seguridad y Salud:

- Accidente de trabajo: toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o como consecuencia del trabajo que ejecute por cuenta ajena.
- Enfermedades Profesionales: aquella contenida como consecuencia del trabajo efectuado por cuenta ajena en las actividades que se especifican en el cuadro que se aprueba por las disposiciones de aplicación y desarrollo de la ley General de la Seguridad Social y que esté provocada por las acciones de los elementos o sustancias que en el mencionado cuadro se indican para cada enfermedad.
- Higiene en el trabajo: es el conjunto de técnicas y procedimientos para prevenir las enfermedades profesionales.

La normativa básica de la política de prevención se recoge en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL) cuyo objetivo es promover la seguridad y salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.

Los aspectos más relevantes del contenido de esta ley son:

❖ **Principios básicos**

La ley se basa en los siguientes principios generales:

- Principio de prevención
- Principio de atenuación del riesgo inevitable
- Principio de evaluación, adaptación y adecuación.
- Principio de seguridad integrada.
- Principio de preeminencia de la protección colectiva.
- Principio de primacía de la protección.

❖ **Evaluación de riesgos**

El empresario tendrá que realizar obligatoriamente una evaluación inicial de los riesgos por tal de planificar la acción preventiva de la empresa.

❖ **Formación**

El empresario debe garantizar que el trabajador reciba una formación teórica y práctica adecuada en materia de prevención, tanto en el momento de la contratación como cuando se produzcan cambios.

El coste correrá siempre a cargo de la empresa, y la formación se realizará preferentemente en horario laboral, en caso contrario se descontarán las horas invertidas en las mismas.

❖ **Vigilancia de la salud**

El empresario debe garantizar la vigilancia periódica del estado de salud de los trabajadores, aunque esta vigilancia sólo se efectuará cuando el trabajador preste su consentimiento, con las excepciones contempladas en la legislación.

❖ **Protección de determinados colectivos**

Se realiza una discriminación positiva para proteger a determinados colectivos de trabajadores:

- Trabajadores especialmente sensibles a determinados riesgos como por ejemplo discapacitados.
- Mujeres en situación de maternidad.
- Menores de 18 años.
- Trabajadores temporales y en Empresas de Trabajo Temporal (ETT)

❖ **Coordinación de actividades empresariales**

Cuando en un mismo centro de trabajo se desarrollen actividades de dos o más empresas, éstas habrán de cooperar en la aplicación de la normativa de Prevención de Riesgos Laborales.

❖ **Obligación de los fabricantes y suministradores**

Los fabricantes o suministradores de EPI (Equipos de Protección Individual) están obligados a suministrar la información que indique la manera correcta de utilización.

❖ **Derechos del trabajador**

Un derecho genérico de todo trabajador es tener una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo.

❖ **Obligaciones del trabajador**

Corresponde a cada trabajador velar, según sus posibilidades, para su propia seguridad y salud en el trabajo y para todas aquellas otras personas a las que pueda afectar su actividad profesional.

Para ello es de obligado uso los elementos de Protección personal que la empresa entregue al trabajador para tal fin.

El incumplimiento de estas obligaciones tiene consideración de incumplimiento laboral.

❖ **Organismos laborales públicos**

Las competencias en materia laboral de dicha administración consiste en:

- Promover la prevención y el asesoramiento en materia de protección Laboral.
- Velar por el cumplimiento de la normativa sobre Prevención de Riesgos Laborales.
- Sancionar el incumplimiento de la normativa de Prevención de Riesgos Laborales.

Con el fin de llevar a cabo un buen plan de Seguridad e Higiene, toda industria debe cumplir una serie de normas que se recogen en el REAL DECRETO 1627/1997, de 14 de Abril, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción:

❖ **Condiciones constructivas**

El diseño y las características constructivas de los lugares de trabajo deberán ofrecer seguridad frente a los riesgos de resbalones o caídas, choques o golpes contra objetos y derrumbamientos o caídas de materiales sobre los trabajadores.

Además se deberá también facilitar el control de las situaciones de emergencia, en especial en caso de incendio, y posibilitar, cuando sea necesario, la rápida y segura evacuación de los trabajadores.

❖ **Condiciones ambientales**

En los lugares de trabajo la exposición a las condiciones ambientales no debe suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores.

Las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben provocar una situación de molestia o incomodidad para los trabajadores, por tanto, deberán evitarse las temperaturas y las humedades extremas, los cambios bruscos de temperatura, las corrientes de aire molestas, los olores desagradables, la irradiación excesiva y particularmente , la radiación solar a través de ventanas , luces o tabiques acristalados.

La exposición a los agentes físicos, químicos y biológicos del ambiente de trabajo se regirá según los establecido su la normativa específica.

❖ Iluminación

La iluminación de cada zona o parte de un lugar de trabajo deberá adaptarse a las características de la actividad que se realice en ella.

Se deberán tener en cuenta las exigencias visuales de las tareas desarrolladas así como los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores dependientes de las condiciones de visibilidad.

Siempre que sea posible, los lugares de trabajo tendrán una iluminación natural, que deberá complementarse con una iluminación artificial cuando la primera, por sí sola, no garantice las condiciones de visibilidad adecuadas. En tales casos se utilizará preferentemente la iluminación artificial general, complementada a su vez con una localizada cuando en zonas concretas se requieran niveles de iluminación elevados.

La iluminación de los lugares de trabajo deberá cumplir una serie de condiciones en cuanto a su distribución y otras características:

- La distribución de los niveles de iluminación será lo más uniforme posible.
- Se procurará mantener unos niveles y contrastes de luminancia adecuados a las exigencias visuales de la tarea, evitando variaciones bruscas de luminancia dentro de la zona de operación y entre esta y sus alrededores.
- Se evitarán los deslumbramientos indirectos producidos por superficies reflectantes que estén situados en la zona de operación o en sus proximidades.
- No se utilizarán sistemas o fuentes de luz que perjudiquen la percepción de los contrastes, de la profundidad o de la distancia entre objetos en la zona de trabajo que produzcan una impresión visual de intermitencia.
- Los lugares de trabajo en los que un fallo del alumbrado normal suponga un riesgo para la seguridad de los trabajadores dispondrán de un alumbrado de emergencia de evacuación y de seguridad.

Los sistemas de iluminación utilizados no deben originar riesgos eléctricos, de incendio o de explosión, cumpliendo, a tal efecto, lo dispuesto en la normativa específica vigente.

❖ **Material y locales de primeros auxilios**

Los lugares de trabajo dispondrán de material para primeros auxilios en caso de accidente, que deberá ser adecuado, en cuanto a su cantidad y características, al número de trabajadores, a los riesgos a que estén expuestos y a las facilidades de acceso al centro de asistencia médica más próximo. El material de primeros auxilios deberá adaptarse a las atribuciones profesionales del personal habilitado para su prestación.

❖ **Limpieza y orden**

Las zonas de paso, salidas y vías de circulación de los lugares de trabajo deberán permanecer libres de obstáculos de manera que sea posible utilizarlas sin dificultad en todo momento.

Se limpiará periódicamente los lugares de trabajo y los equipos e instalaciones para mantener unas condiciones higiénicas adecuadas.

Se eliminarán inmediatamente los desperdicios, manchas de grasa, residuos de sustancias peligrosas que puedan generar accidentes o contaminar el ambiente de trabajo.

❖ **Señalización**

La señalización es una materia profundamente relacionada con la actividad de prevención. De hecho, la mayor parte de la señalización existente en un centro de trabajo está orientada precisamente a la prevención de riesgos laborales.

En la actualidad la señalización de finalidad preventiva está regulada por el R.D. 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

La señalización de seguridad y salud en el trabajo deberá utilizarse siempre que el análisis de los riesgos existentes, de las situaciones de emergencias previsibles y de las medidas preventivas adoptadas, ponga de manifiesto la necesidad de:

- a) Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
- b) Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas urgentes de protección o evacuación.

- c) Facilitar a los trabajadores la localización e identificación de determinados medios o instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.
- d) Orientar o guiar a los trabajadores que realicen determinadas maniobras peligrosas.

En el supuesto de detectarse una falta de señalización, ésta deberá comunicarse a la Unidad de Salud y Relaciones Laborales mediante el formulario electrónico u otro medio adecuado.

❖ Equipos de protección individual (EPI)

Los medios de protección carecen de finalidad productiva y están destinados exclusivamente a la protección del trabajador, es decir, a la eliminación o minoración del riesgo.

Los equipos de protección individual deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad o salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, métodos o procedimientos de organización del trabajo.

Su regulación, contenida básicamente en el art. 17.2 LPRL, ha sido desarrollada por el R.D. 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

El art. 4.8º LPRL indica que se entenderá por “equipo de protección individual” cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

A los equipos de protección individual se les exigen dos condiciones:

1. Positivamente, que proporcionan una protección eficaz frente a los riesgos que motiven su uso;
2. Negativamente, que no supongan por sí mismos u ocasionen riesgos adicionales o molestias innecesarias.

Cuando un equipo de protección individual pueda ser utilizado por varias personas, deberá estar perfectamente mantenido, limpio y desinfectado en su caso. Por ello, la persona que lo utilice, deberá dejarlo en condiciones óptimas para su posterior utilización por otras personas.

2. IMPACTO AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA

A la hora del diseño y construcción de una nueva planta uno de los aspectos más importantes es el impacto ambiental que puede causar dicha planta. Para ello se deben seguir las normas de gestión ambiental como la ISO 14001, donde se pretende llevar a cabo un impacto lo más pequeño posible.

El estudio específico del impacto ambiental será responsabilidad de la empresa que contrate la construcción de la planta objetivo del presente proyecto.

Aun así, a continuación se identifican las principales emisiones contaminantes de la instalación del presente proyecto.

❖ Emisiones atmosféricas

Se producen emisiones difusas de amoníaco y gases nitrosos provenientes de válvulas.

❖ Emisiones acuosas

De la limpieza de las mallas del reactor de combustión se generan residuos.

❖ Generación de residuos

Cuando se cambia el aceite de lubricación de las bombas se genera un residuo.

❖ Generación de ruido

Ruido continuo generado por el funcionamiento de bombas, ventiladores, etc.

Para combatir estas emisiones contaminantes se debe:

- Gestionar las emisiones acuosas en una Planta de tratamiento de aguas residuales.
- Trasladar los residuos generalmente en bidones a un ECOPARQUE para su correcta gestión.
- Utilizar aislantes para combatir el ruido e utilizar las EPI'S necesarias para la seguridad y salud del trabajador.

Además se han de tener en cuenta medidas generales como la educación de los empleados de la planta tanto en el ámbito de seguridad e higiene como para el ambiental, en el cual deberán de ser conscientes de las consecuencias que las actividades de la planta tengan sobre el medio ambiente e intentar corregir cualquier actividad que pueda ocasionar un problema para los empleados y para el entorno medioambiental.

Para ello es muy importante que desde la propia empresa se les informe del correcto uso de las instalaciones y de las medidas de prevención de riesgos. Además se les debe concienciar de la gran importancia de ser respetuoso con el medio ambiente y actuar de forma correcta ante una situación de riesgo.