



Universitat Jaume I

Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales

Grado en Ingeniería Química

**Diseño de la etapa de reacción para la
producción de acetaldehído a partir de etanol:
*Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor
catalítico de lecho empaquetado***

Trabajo Fin de Grado

Autor

Andrés Mormeneo Segarra

Tutor

Antonio Barba Juan

Castellón, julio de 2019

En primer lugar, debo dar las gracias a aquellas personas que me dieron el don de la vida, Miguel Ángel y Laura, os quiero con locura, de corazón, gracias por todo.

Por supuesto, debo dar las gracias a esas dos personas que son el amor personificado, Pepa y Julián; sé que no podrás estar hoy aquí, pero de un modo u otro sé que lo estás viendo. Un beso.

Debo dar las gracias también a mis amigos, Alejandro, Jorge, Miguel, Pablo y Roque por hacerme reír tantísimas veces y hacer que en días negros salga el sol.

A lo largo de estos casi 19 años de aprendizaje, primero en mi colegio, Madre Vedruna Sagrado Corazón, y luego en la Universidad Jaume I, han pasado por mi vida un gran número de profesores, a los que me gustaría dar las gracias por ayudarme a ser la persona que soy hoy en día.

Me gustaría agradecer también a los hermanos García Montón y a Julio César García Méndez su paciencia, tiempo y esfuerzo empleado en mi persona, una colleja siempre viene bien. Al final Fittipaldi se ha convertido en Alonso con McLaren Julio.

Me gustaría agradecer también a todos los profesores del Grado en Ingeniería Química que me han ayudado en la labor de elaborar el presente proyecto, en especial a mi tutor, Antonio Barba Juan, por su implicación, conocimiento y paciencia conmigo durante todas esas horas que hemos pasado en su despacho.

No me gustaría cerrar esto sin mencionar a mi fiel compañero durante todo este viaje universitario, José Gil, la persona con la que mejor me he compenetrado en estos 4 años, y que juntos formamos un dúo difícil de batir.

“La felicidad es un sentimiento fundamentalmente negativo: La ausencia de dolor”.

Gregorio Marañón y Posadillo

Al meu Chuli

0. RESUMEN

El presente proyecto muestra el diseño de una instalación para la producción de acetaldehído a partir de etanol en fase gas.

La instalación se localizará en el complejo perteneciente a UBE Chemical Europe S. A. U. ubicada en el Grao de Castellón, aprovechando de este modo determinadas corrientes de la planta para utilizarlas en la instalación que se va a diseñar.

El proceso se basa en calentar el etanol en fase gas desde los 90°C hasta los 285°C, para ello se diseña el correspondiente intercambiador de calor.

Una vez se alcanza la temperatura adecuada, el etanol se lleva a un reactor de lecho empaquetado en presencia de CuCr_2O_4 (cromita de cobre) que actúa como catalizador.

Una vez la corriente abandona el reactor, debido al bajo grado de conversión, es necesaria una recirculación del etanol no reaccionado, para poder llevar a cabo esta recirculación, la mezcla se debe separar para obtener una corriente de etanol en fase gas pura. Esta corriente de etanol se recircula a la entrada del intercambiador de calor.

Además, se precisa de un sistema de compresión que permita contrarrestar las pérdidas de carga que se experimentan en los equipos y poder impulsarlos por el circuito que forma la instalación.

También se llevará a cabo un estudio económico que determine la inversión inicial, los gastos directos e indirectos, los beneficios, el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Rentabilidad.

1. ÍNDICE GENERAL

- 0. Resumen
- 1. Índice General
- 2. Memoria
- 3. Anejos
- 4. Planos
- 5. Pliego de Condiciones
- 6. Estado de Mediciones
- 7. Presupuesto

2. MEMORIA

ÍNDICE

1	OBJETO	3
2	JUSTIFICACIÓN	4
3	ALCANCE	5
4	ANTECEDENTES	7
4.1	EL ACETALDEHÍDO	7
4.1.1	<i>Propiedades Físicas</i>	8
4.1.2	<i>Propiedades Químicas</i>	8
4.1.3	<i>Producción</i>	9
4.1.4	<i>Aspectos económicos</i>	13
4.2	MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS	16
4.2.1	<i>Etanol</i>	17
4.2.2	<i>Cromita de cobre</i>	17
4.2.3	<i>Acetaldehído</i>	18
4.2.4	<i>Hidrógeno</i>	18
4.2.5	<i>Vapor de agua</i>	19
4.2.6	<i>DOWTHERM-A</i>	20
5	NORMAS Y REFERENCIAS	21
5.1	DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS	21
5.2	BIBLIOGRAFÍA	21
5.3	PROGRAMAS EMPLEADOS	23
6	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	24
7	REQUISITOS DE DISEÑO	26
7.1	CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA CORRIENTE ALIMENTO	26
7.2	CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL CATALIZADOR	26
8	ANÁLISIS DE SOLUCIONES	27
8.1	INTERCAMBIADOR DE CALOR	27
8.1.1	<i>Fluidos de calefacción</i>	34
8.1.2	<i>Selección del tipo de intercambiador de calor y del fluido de calefacción</i>	34
8.2	REACTOR	34
8.2.1	<i>Clasificación</i>	34
8.3	REACTOR DE LECHO EMPAQUETADO O "PACKED BED REACTOR"	38
8.3.1	<i>Catalizador</i>	40
8.3.2	<i>Desactivación del catalizador</i>	42
8.3.3	<i>Consideraciones de la reacción</i>	42
8.3.4	<i>Selección del tipo de reactor</i>	43
8.4	COMPRESORES	45
8.4.1	<i>Selección del tipo de compresor</i>	47
9	RESULTADOS FINALES	48
9.1	INTERCAMBIADOR DE CALOR	49
9.2	REACTOR	50
9.3	DEPÓSITO DE ACETALDEHÍDO	51
9.4	COMPRESORES	52

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empaquetado

9.5	CONDUCCIONES.....	52
9.6	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	52
9.7	CONSUMOS DE LA INSTALACIÓN.....	55
10	PLANIFICACIÓN.....	56
11	ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS.....	58
12	ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	59
12.1	RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	59
12.2	PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN.....	60
12.2.1	<i>Gastos directos.....</i>	<i>61</i>
12.2.2	<i>Amortizaciones.....</i>	<i>62</i>
12.2.3	<i>Gastos indirectos.....</i>	<i>63</i>
12.2.4	<i>Gastos totales.....</i>	<i>64</i>
12.3	BENEFICIOS.....	64
12.4	FLUJO DE CAJA.....	65
12.5	VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	66
12.6	TASA INTERNA DE RENTABILIDAD (TIR).....	66
12.7	PERIODO DE RETORNO (PR).....	69
12.8	CONCLUSIÓN.....	69

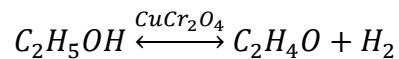
1 OBJETO

El propósito del presente proyecto es el de diseñar una instalación para la producción de acetaldehído mediante el uso de un reactor catalítico de lecho fijo donde se producirá la deshidrogenación de etanol para obtener acetaldehído e hidrógeno.

La instalación se ubicará en las instalaciones de UBE Chemical Europe S. A. U.

Para ello se emplea etanol en fase gas que es calentado en un intercambiador de calor para introducirlo posteriormente en el reactor.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:



La corriente saliente se enfría y posteriormente se purifica haciéndola pasar por cartuchos de membranas de separación de gases.

El acetaldehído se vende como producto, el hidrógeno se recircula a la refinería BP mediante la canalización que conecta ambas instalaciones para ser empleado en sus operaciones de hidrogenación y el etanol no reaccionado se recircula a la entrada del intercambiador de calor.

2 JUSTIFICACIÓN

La realización del presente proyecto surge de surge de la necesidad de realizar un proyecto de carácter profesional, ligado al ámbito laboral habitual de un graduado en Ingeniería Química.

A raíz de la estancia en prácticas en UBE Chemical Europe S. A. U. con motivo de la asignatura EQ1034 Prácticas Externas y EQ 1044 Trabajo de Final de Grado, se ha decidido llevar a cabo la instalación de una planta de producción de acetaldehído para aumentar la cartera de productos de la empresa.

Gracias al emplazamiento de la empresa, Polígono Industrial El Serrallo, UBE dispone de una línea de canalizaciones que la conectan con la refinería BP, de modo que intercambian productos finales, intermedios, y excedentes de sus respectivas líneas de producción, de modo que el hidrógeno generado en la operación se envía a BP para sus operaciones de hidrogenación.

3 ALCANCE

Como se ha comentado con anterioridad, en el presente proyecto se pretende diseñar una instalación para la producción de acetaldehído a partir de etanol.

La instalación para la obtención de acetaldehído a partir de etanol funciona de la forma siguiente:

El etanol en fase gas se calienta en un intercambiador de coraza y haz de tubos fluyendo en contracorriente con vapor de agua. El etanol caliente que abandona el intercambiador de calor pasa a un compresor que comprime el gas como etapa previa a la reacción. El etanol caliente y comprimido se alimenta a un reactor catalítico de lecho fijo, que se dispone de forma similar a un intercambiador de calor de coraza y haz de tubos, la principal diferencia se da en que los tubos se encuentran rellenos de catalizador. El fluido calefactor, DOWTHERM-A, fluye en contracorriente con el etanol en fase gas, condensando para así mantener su temperatura constante. La corriente que abandona el reactor pasa por una torre de refrigeración para reducir la temperatura de la mezcla gaseosa y se separan los componentes mediante cartuchos de membranas para obtener corrientes de componente puro. El etanol no reaccionado se recircula al intercambiador de calor, la corriente de hidrógeno se envía a la refinería BP para emplearla en sus operaciones de hidrogenación y la corriente de acetaldehído se almacena para su posterior venta.

Así pues, la instalación estará compuesta por:

- Intercambiador de calor de coraza y haz de tubos.
- Reactor catalítico de lecho fijo.
- Compresores.
- Conducciones.
- Depósito.

Por tanto, el alcance del proyecto será:

- Diseñar y dimensionar los equipos más importantes que componen la instalación.
- Realizar el estudio económico que incluya los costes de construcción y funcionamiento de la instalación.
- Dimensionamiento de la instalación.

4 ANTECEDENTES

4.1 El Acetaldehído

El acetaldehído (etanal), CH_3CHO , fue preparado por primera vez por Scheele en 1774, gracias a la acción del dióxido de manganeso y el ácido sulfúrico sobre etanol. La estructura del acetaldehído no se determinó hasta 1835 cuando Liebig, a partir de una muestra pura de acetaldehído preparada por oxidación de etanol con ácido crómico, la determinó. Liebig denominó al compuesto "aldehído". Kutscherow en 1881 observó la formación de acetaldehído por adición de agua al acetileno [1].

El acetaldehído se utilizó por primera vez durante la Gran Guerra como intermedio importante en la producción de ácido acético, anhídrido acético, etil-acetato, ácido peracético, alquilaminas y piridinas.

Los procesos de producción de acetaldehído comerciales se basan en distintos principios:

- Deshidrogenación de etanol
- Adición de agua al acetileno
- Oxidación de hidrocarburos
- Oxidación de etileno

La variedad de procesos de obtención de acetaldehído pone de manifiesto una de las realidades de la industria química: Por norma general, existen varios métodos para obtener un determinado producto, muchos de estos pueden ser competitivos [2].

4.1.1 Propiedades Físicas

Las principales propiedades físicas del acetaldehído se muestran en la *tabla M. 1*.

Tabla M. 1 Propiedades del acetaldehído

Propiedad	Valor	Uds.
Peso Molecular	44,053	g/mol
Punto de ebullición (1 atm)	20,85	°C
Punto de fusión	-123	°C
Densidad	$\rho = 537,227 \cdot P/T$	kg/m ³
Calor específico	$c_p = -7 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 0,003 \cdot T + 0,454$	kJ/kg·K
Viscosidad	$\mu = -4,814 \cdot 10^{-12} \cdot T^2 + 2,494 \cdot 10^{-8} \cdot T - 2,529 \cdot 10^{-6}$	Pa·s
Cond. Térmica	$k = 3,837 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 1,250 \cdot 10^{-5} \cdot T - 9,624 \cdot 10^{-4}$	W/m·K

4.1.2 Propiedades Químicas

4.1.2.1 Descomposición

El acetaldehído se descompone a temperaturas próximas a los 400°C, formando principalmente metano y monóxido de carbono. La energía de activación de la reacción de pirólisis es de 97,7 kJ/mol.

4.1.2.2 La forma hidrato y enol

En las soluciones acuosas existe un equilibrio entre el acetaldehído y el acetaldehído hidratado. El grado de hidratación se puede obtener mediante la ecuación de Bell y Clunie.

La forma enol coexiste en equilibrio con el acetaldehído en una proporción de 1/30.000 moléculas.

4.1.2.3 Oxidación

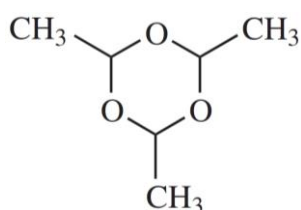
El acetaldehído se oxida fácilmente a ácido acético, anhídrido acético y ácido peracético. El producto principal depende de las condiciones de reacción (presión y temperatura principalmente).

4.1.2.4 Reducción

El acetaldehído se reduce fácilmente a etanol mediante una hidrogenación, gracias al uso de catalizadores de níquel y óxido de cobre.

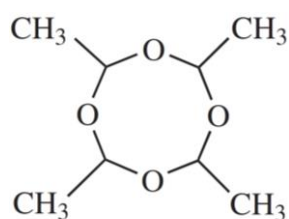
4.1.2.5 Polimerización

En función de las condiciones de operación y de los distintos compuestos presentes, se pueden formar distintos polímeros, en las *figuras M.1* y *M.2* se muestran 2 ejemplos de polímeros formados por acetaldehído.



paraldehyde

Figura M. 1 Paraldehído



metaldehyde

Figura M. 2 Metaldehído

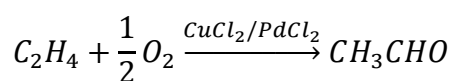
4.1.3 Producción

Desde 1960, la oxidación en fase líquida de etileno ha sido la principal opción a la hora de seleccionar un método de obtención de acetaldehído. Sin embargo, existen otros métodos disponibles [3].

4.1.3.1 Oxidación de etileno

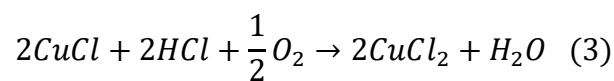
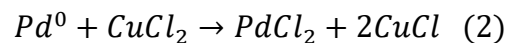
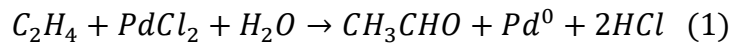
Wacker-Chimie y Farbwerker Hoeschst desarrollaron entre 1957 y 1959 la oxidación parcial en fase líquida del etileno a acetaldehído, usando como catalizador una disolución acuosa de cloruros de paladio y de cobre (PdCl₂ y CuCl₂). El proceso también conocido como proceso Wacker-Hoeschst, es la principal vía de obtención comercial de acetaldehído.

El proceso se representa sencillamente como la oxidación directa y catalítica del etileno por la siguiente reacción exotérmica:



En realidad, la reacción no tiene lugar en una única etapa, sino que el mecanismo es bastante más complejo, involucrando reacciones de formación de complejos intermedios y reacciones de oxidación-reducción.

El proceso está basado en tres reacciones químicas:



La reacción 1 es suficiente para la producción de acetaldehído. Como se observa la propia función catalítica reside en la especie $PdCl_2$, que forma un complejo con el etileno y un cambio de ligandos. Sin embargo, esta reacción por si sola no da lugar a un proceso comercialmente viable para la obtención de acetaldehído puesto que se necesitan grandes cantidades de cloruro de paladio, al desactivarse este durante la reacción. Así se introducen las reacciones 2 y 3, que permiten regenerar la especie catalítica y hacer el proceso viable comercialmente.

En la segunda reacción, el paladio metálico se reoxida a $PdCl_2$ mediante $CuCl_2$ que se reduce a $CuCl$, siendo regenerado en la reacción 3 con oxígeno. La reoxidación del Pd^0 no se lleva a cabo con oxígeno directamente porque la reacción es muy lenta. Se utiliza como agente oxidante el $CuCl_2$ porque el proceso redox es más rápido y porque el cobre monovalente del $CuCl$ se oxida fácilmente con oxígeno a cobre divalente. Cabe destacar que la cantidad de $PdCl_2$ necesaria para la conversión del etileno a acetaldehído es muy pequeña.

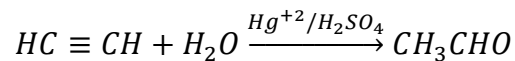
Uno de los principales problemas de esta vía de obtención de acetaldehído son las propiedades extremadamente corrosivas de la solución catalítica. Habitualmente se utilizan equipos de titanio o recubiertos de material cerámico. Además, es necesario controlar cuidadosamente la composición de las disoluciones para mantener la conversión alcanzada en la etapa de reacción.

4.1.3.2 Hidratación de acetileno

La hidratación de acetileno constituyó la principal vía de producción comercial de acetaldehído desde 1916 hasta mediados de la década de los setenta, cuando este proceso fue prácticamente reemplazado por la oxidación directa del etileno.

El acetileno de alta pureza y a una presión de 103,4 kPa se hace pasar a través de un reactor vertical que contiene la solución catalítica de sales de mercurio en ácido sulfúrico al 18 - 25% y a una temperatura de entre 70 - 90°C. La conversión del acetileno por paso es del 55%.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:

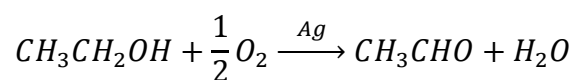


4.1.3.3 Oxidación de etanol

La oxidación de etanol es el método más eficaz y más antiguo para producir acetaldehído en el laboratorio.

En el proceso comercial, el etanol se oxida catalíticamente con oxígeno o aire en la fase vapor siendo los catalizadores más utilizados el cobre, la plata y sus óxidos y aleaciones.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:



El etanol en fase vapor se mezcla con aire precalentado y se hace pasar sobre el catalizador de plata que contiene el reactor a 500 - 650°C y a presión atmosférica. La temperatura de la reacción depende de la relación alcohol-aire y de la velocidad de circulación del gas sobre el catalizador. La conversión del alcohol varía entre el 50 y el 70% (si el reactor es multitubular se puede alcanzar una conversión del 74 - 82%) y la producción se encuentra entre el 97 - 99% dependiendo de las condiciones de reacción.

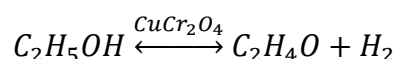
4.1.3.4 Oxidación parcial de hidrocarburos saturados

El acetaldehído aparece como un coproducto en la oxidación parcial en fase vapor de hidrocarburos saturados como el butano, el propano o mezclas de ambos. El agente oxidante empleado es oxígeno o aire.

Este proceso de producción de acetaldehído no es muy relevante desde el punto de vista comercial puesto que no es selectivo y es necesaria la recuperación de una amplia gama de compuestos químicos. A continuación, se refleja para el caso de la oxidación del butano, los productos y subproductos que se generan: como productos principales se obtienen acetaldehído, formaldehído, metanol y acetona, además, en menores cantidades, se obtienen otros aldehídos, alcoholes, cetonas, glicoles, acetales, epóxidos y ácidos orgánicos.

4.1.3.5 Deshidrogenación de etanol

El acetaldehído también puede obtenerse a partir del etanol por deshidrogenación usando como catalizador una mezcla de óxido de cromo, Cr_2O_3 , y de cobre. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



El etanol en fase vapor se hace pasar a través del catalizador de cromita de cobre que contiene el reactor tubular a una temperatura de 260 - 290°C y a una presión superior a la atmosférica. La conversión del etanol oscila entre el 30 - 45% por paso dependiendo de la velocidad del flujo del etanol, de la temperatura de reacción y de la presión de entrada de la mezcla reactiva.

La corriente gaseosa de salida del reactor se enfría y se hace pasar por cartuchos de membranas para separar los productos de la reacción y el etanol no reaccionado, que se recircula a la entrada del intercambiador de calor.

4.1.4 Aspectos económicos

Desde finales del siglo XX el proceso de producción más empleado es la oxidación directa del etileno. En Europa occidental también se produce acetaldehído por oxidación de etanol (7%) e hidratación de acetileno (17%).

En América del Sur, toda la producción de acetaldehído se basa en la oxidación de etanol. Sin embargo, la demanda de acetaldehído por todo el mundo ha ido disminuyendo como resultado de un menor consumo de ácido acético, a medida que la industria se desplaza hacia otros procesos más eficientes.

Toda la fabricación de ácido acético proveniente del acetaldehído en América del Norte se ha parado, y en Europa una gran parte. El uso del acetaldehído para obtener ácido acético en Asia continúa, pero está en peligro y disminuirá debido al establecimiento de tecnologías más eficientes.

Desde 1995, en Europa, se ha reducido la producción en unas 360.000 toneladas. En China se está aumentando la capacidad de producción de acetaldehído, contradiciendo la tendencia global.

En las siguientes tablas, *tablas M.2 y 3*, se muestran las producciones de acetaldehído de distintas empresas, así como la tendencia con el tiempo.

Tabla M. 2 Producción de acetaldehído

Empresa	Producción (10³ toneladas)
Celanese Chemicals Europe GmbH, Germany	120
Eastman Chemical Company, USA	225
ECROS, SA, Spain	90
Japan Aldehyde Company Ltd., Japan	69
Jilin Chemical Industrial Company, China	180
Kyowa Yuka Company Ltd., Japan	61
Showa Denko K.K., Japan	300
Sinopec Yangzi Petrochemical Co., China	78
Wacker Chemie AG, Germany	65

Tabla M. 3 Tendencia de la producción de acetaldehído

Año	USA	Europa O.	México	Japón	China	Total
1.990	283	603	190	384	-	1.460
1.995	11	668	271	395	400	1.845
2.000	155	370	113	401	400	1.439
2.003	142	212	57	362	500	1.273

Las piridinas, el pentaeritritol, el ácido acético y los ésteres de acetato representaron el 34%, 23%, 18% y 10%, respectivamente, del consumo mundial de acetaldehído en 2016. Las bases de piridina son materias primas importantes en la producción de productos químicos agrícolas. El pentaeritritol y los ésteres de acetato (principalmente acetato de etilo, pero también algo de acetato de isobutilo) se usan mucho en los recubrimientos de superficie. El ácido acético ahora se fabrica predominantemente a través del proceso de carbonilación del metanol. Otras aplicaciones para el acetaldehído supusieron el 15% restante del consumo mundial de acetaldehído en 2016. Esta categoría incluye 1,3-butilenglicol, crotonaldehído y glioxal, junto con algunos derivados de menor volumen [4].

Las instalaciones de ácido acético basadas en acetaldehído continúan operando en Europa occidental, Oriente Medio y América del Sur, aunque se irán sustituyendo gradualmente en favor de la carbonilación del metanol. Además de estos cambios estructurales, la demanda de acetaldehído también ha disminuido en los últimos años debido a los efectos de la recesión económica en estos productos derivados del acetaldehído.

La *figura M. 3* muestra el consumo global de acetaldehído en 2016.

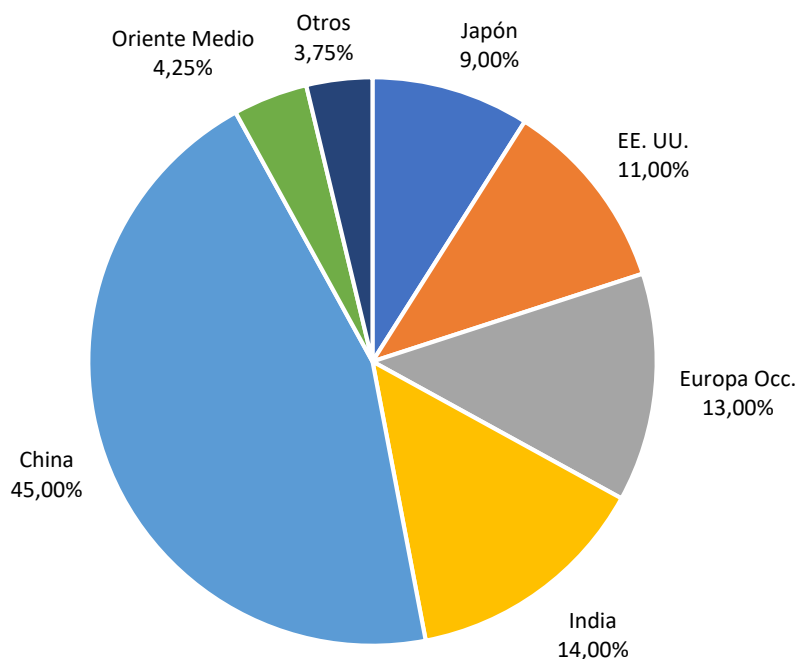


Figura M. 3 Consumo global de acetaldehído en 2016

China es el mayor consumidor mundial de acetaldehído. En 2016, China supuso casi la mitad (45%) del consumo mundial de acetaldehído. El consumo chino de ácido acético (a base de etanol), piridinas y pentaeritritol es equilibrado. Las piridinas y el pentaeritritol se han desarrollado muy rápidamente en los últimos años debido al importante descenso en la demanda de pesticidas, productos farmacéuticos, pinturas y recubrimientos de resina alquídica. En consecuencia, se estima que el consumo general de acetaldehído chino crecerá en casi un 4% por año hasta 2021.

India es el segundo mayor consumidor de acetaldehído en el mundo. India copó entorno al 14% del consumo mundial en 2016. India se ha desarrollado rápidamente en los últimos años. El principal motivo por el que el acetaldehído ha crecido en la India, es debido al uso de piridinas. El consumo de acetaldehído para las piridinas supuso el 90% del consumo total de acetaldehído.

Europa occidental es el tercer mayor consumidor mundial de acetaldehído, ya que representa aproximadamente el 13% del consumo mundial en 2016. Se espera que el mercado de acetaldehído de Europa occidental aumente ligeramente, aproximadamente el 1,5% anual hasta 2021. El principal uso del acetaldehído en Europa

occidental es el pentaeritritol, y este uso supondrá el mayor crecimiento, ya que el uso de pentaeritritol para producir ésteres de neopoliol (NPE) para lubricantes ha aumentado.

El consumo de acetaldehído en **Japón** sufrirá un crecimiento de aproximadamente el 2,5% anual hasta 2021, dependiendo principalmente del crecimiento en el consumo de acetato de etilo.

Se espera que **Sudamérica**, la **CEI** (Comunidad de Estados Independientes), los **Estados Bálticos** y el **Oriente Medio** junto con el resto de Asia crezcan a una tasa de menos del 1% por año hasta el 2021 debido a las reducciones en los usos posteriores o a la no producción. No ha habido consumo de acetaldehído en África desde que Sasol cerró sus plantas de acetaldehído y crotonaldehído en 2004-05.

En general, se pronostica que el consumo global de acetaldehído crezca a una tasa promedio anual del 3% como se muestra en la *figura M. 4*.

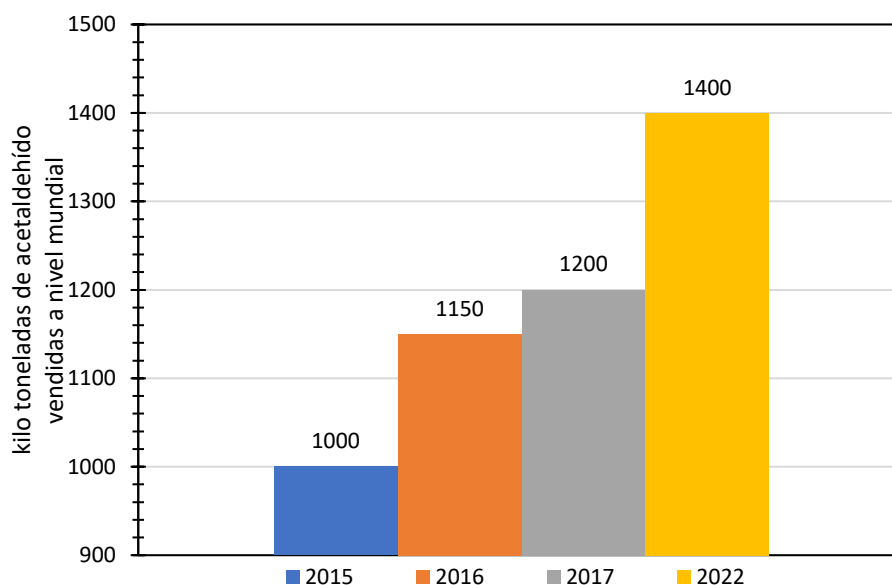


Figura M. 4 Consumo global de acetaldehído

4.2 Materias Primas y Productos

La reacción de deshidrogenación de etanol para la obtención de acetaldehído tiene como materias primas el etanol y la cromita de cobre, y como productos, el acetaldehído, el hidrógeno y el etanol no reaccionado.

4.2.1 Etanol

Las principales propiedades físicas del etanol se muestran en la *tabla M. 4*.

Tabla M. 4 Propiedades del etanol

Propiedad	Valor	Uds.
Peso Molecular	46,070	g/mol
Punto de ebullición (1 atm)	78,65	°C
Punto de fusión	-114,10	°C
Densidad	$\rho = 561,810 \cdot P/T$	kg/m ³
Calor específico	$c_p = -1,647 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 0,005 \cdot T + 0,207$	kJ/kg·K
Viscosidad	$\mu = -5,431 \cdot 10^{-12} \cdot T^2 + 3,162 \cdot 10^{-8} \cdot T - 1,988 \cdot 10^{-8}$	Pa·s
Cond. Térmica	$k = 1,104 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 2,660 \cdot 10^{-5} - 2,519 \cdot 10^{-3}$	W/m·K

4.2.2 Cromita de cobre

La cromita de cobre CuCr_2O_4 , es un óxido donde la carga del catión A (Cu) más el doble de la carga del catión B (Cr) es igual a 8, a este tipo de óxidos se les denomina espinelas. En la *tabla M. 5*, se detallan los distintos tipos de espinelas según las cargas de los cationes.

Tabla M. 5 Distintos tipos de espinelas

Carga A	Carga B	Tipo	Espinela de cada tipo (%)
+2	+3	2 – 3	80
+4	+2	4 – 2	15
+6	+1	6 - 1	5

La estructura de las espinelas se caracteriza porque los cationes A y B tienen índices de coordinación de 6 y 4 con geometrías octaédrica y tetraédrica. A su vez, cada ion óxido está coordinado por tres cationes metálicos situados en posiciones octaédricas y por un cuarto catión metálico situado en una posición tetraédrica.

La celda unidad (*figura M. 5*), está constituida por 32 iones que definen un empaquetamiento cúbico compacto casi perfecto, de modo que la celda unidad contiene 32 huecos con geometría octaédrica y 64 huecos con geometría tetraédrica, pero los cationes metálicos solo ocupan 8 huecos tetraédricos y 16 huecos octaédricos [5].

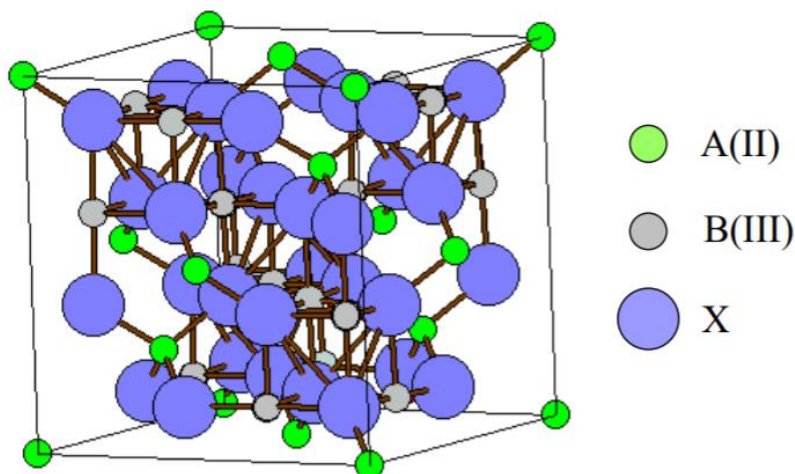


Figura M. 5 Estructura de una espinela

La cromita de cobre está formada por óxido de cromo (Cr_2O_3) y cobre, el empleado en este caso es el correspondiente al cromo trivalente, cuya toxicidad aguda es despreciable. El cromo trivalente en ambientes alcalinos, altas temperaturas y atmósferas oxidantes se oxida para dar CrO_4^{2-} , compuesto de Cr (VI) clasificado como carcinógeno de categoría A1 según la ACGIH. Por tanto, el óxido de cromo (Cr_2O_3), no es peligroso por sí mismo, pero es un importante precursor de especies como cromatos que si lo son [6].

4.2.3 Acetaldehído

Las características del acetaldehído, principal producto de la reacción, ya se han abordado en el *apartado 4.1* del presente documento.

4.2.4 Hidrógeno

Las principales propiedades físicas del hidrógeno se muestran en la *tabla M. 6*.

Tabla M. 6 Propiedades del hidrógeno

Propiedad	Valor	Uds.
Peso Molecular	2,016	g/mol
Punto de ebullición (1 atm)	-252,76	°C
Punto de fusión	-259,20	°C
Densidad	$\rho = 24,584 \cdot P/T$	kg/m ³
Calor específico	$c_p = 1,481 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 2,537 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 0,015 \cdot T + 11,7$	kJ/kg·K
Viscosidad	$\mu = -5,980 \cdot 10^{-12} \cdot T^2 + 2,354 \cdot 10^{-8} \cdot T + 2,428 \cdot 10^{-6}$	Pa·s
Cond. Térmica	$k = -1,218 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 5,337 \cdot 10^{-4} \cdot T + 2,966 \cdot 10^{-2}$	W/m·K

4.2.5 Vapor de agua

El vapor de agua disponible en la planta se encuentra a 350°C y una presión de 1 atmósfera. En estas condiciones el vapor de agua permanece en fase vapor tal y como se muestra en la *figura M. 6*.

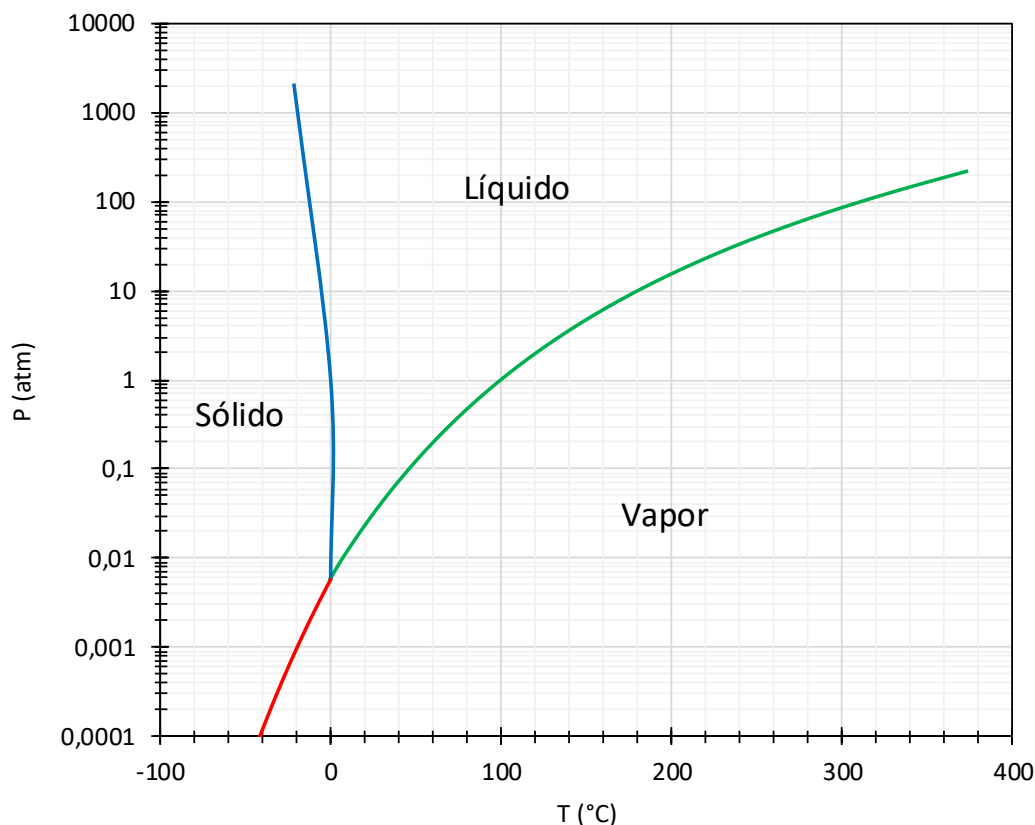


Figura M. 6 Diagrama de fases del agua

El vapor de agua tiene las características que se muestran en la *tabla M. 7*.

Tabla M. 7 Propiedades del agua

Propiedad	Valor	Uds.
Peso Molecular	18,015	g/mol
Punto de ebullición (1 atm)	100	°C
Punto de fusión	0	°C
Densidad	$\rho = 219,699 \cdot P/T$	kg/m ³
Calor específico	$c_p = 5,244 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 - 9,389 \cdot 10^{-6} \cdot T + 1,822$	kJ/kg·K
Viscosidad	$\mu = 3,962 \cdot 10^{-8} \cdot T - 2,354 \cdot 10^{-6}$	Pa·s
Cond. Térmica	$k = 5,223 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 4,792 \cdot 10^{-5} \cdot T - 7,709 \cdot 10^{-4}$	W/m·K

4.2.6 DOWTHERM-A

Es un fluido de transferencia de calor que se compone de una mezcla eutéctica de dos compuestos orgánicos muy estables, el bifenilo ($C_{12}H_{10}$) y el óxido de difenil eter ($C_{12}H_{10}O$). Estos compuestos tienen presiones de vapor muy similares de modo que la mezcla se puede tratar como un único compuesto.

El DOWTHERM-A se puede utilizar tanto en fase líquida como en fase vapor. Su rango de aplicación habitual va desde los 15 hasta los 400°C y desde 1 hasta 10,6 atmósferas.

El DOWTHERM-A se ha empleado en la industria durante más de 60 años, es estable, no se descompone rápidamente y se puede utilizar de forma efectiva en fase líquida y fase vapor. Debido a su baja viscosidad, es muy eficiente para la transferencia de calor, además de no ser corrosivo frente a metales comunes y aleaciones [7].

5 NORMAS Y REFERENCIAS

5.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

Durante la realización de este proyecto se han tenido presentes las siguientes normas:

- RD 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, del 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales
- RD 379/2001 del 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) para el diseño del intercambiador de calor de coraza y haz de tubos.
- UNE-EN ISO 5455 – Dibujos técnicos. Escalas. (ISO 5455:/979)
- UNE-EN ISO 3098-0 – Documentación técnica de productos. Escritura.
- UNE 1032 – Dibujos técnicos. Principios generales de representación.
- UNE 157001-2014, “Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.
- UNE-EN 13480-3:2017, Tuberías metálicas industriales. Parte 3: Diseño y cálculo.

5.2 Bibliografía

- [1] H. J. Hagemeyer, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, Inc..
- [2] H. A. Wittcoff, Productos químicos orgánicos industriales. Volumen 1: Materias primas y fabricación, México: LIMUSA, 1993.
- [3] H. A. Wittcoff, B. G. Reuben y J. S. Plotkin, Industrial Organic Chemicals, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
- [4] Chemical Economics Handbook, 2016.
- [5] J. L. Amorós, A. Barba y V. Beltrán, Estructuras cristalinas de los silicatos y óxidos de las materias primas cerámicas, Castellón de la Plana: AICE-ITC Instituto de Tecnología Cerámica, 1994.

- [6] J. C. Paús, Desarrollo de ecopigmentos negros de espinela dopada alternativos a los ferritos tradicionales mediante presión y procesados sol-gel, Castellón de la Plana: Publicaciones Universitat Jaume I, 2003.
- [7] DOW, «DOWTHERM A, Heat Transfer Fluid,» The Dow Chemical Company, United States of America, 1998.
- [8] J. M. Santamaría, J. Herguido, M. Á. Menéndez y A. Monzón, Ingeniería de reactores, Madrid: SINTESIS, 1999.
- [9] L. D. Schmidt, The Engineering of Chemical Reactions, New York: OXFORD University Press, 2004.
- [10] J. A. C. Ferrer y R. F. Montesinos, Reactores Heterogéneos, Murcia: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2001.
- [11] V. Aguilera Fernández y J. Pellicer García, Termodinámica Aplicada, Castellón de la Plana: Publicaciones de la Universitat Jaume I, 1998.
- [12] R. W. Missen, C. A. Mims y B. A. Seaville, Introduction to Chemical Reaction Engineering and Kinetics, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [13] Apuntes EQ1031 Proyectos de Ingeniería.
- [14] A. Barba Juan y C. Clausell Terol, Reactores Químicos y Bioquímicos, Castellón de la Plana: Publicaciones de la Universitat Jaume I, 2014.
- [15] Coulson y Richardson's, Chemical Engineering Design, Oxford: Elsevier, 2005.
- [16] J. Coulson y J. Richardson, «Ingeniería Química,» de *Operaciones Básicas*, Barcelona, reverté, S.A, 1988, pp. 941-944.
- [17] A. G. Dixon y D. L. Cresswell, «Theoretical Prediction of Effective Heat Transfer Parameters in Packed Beds,» *AIChE Journal (Vol. 25, No 4)*, pp. 663-676, 1979.
- [18] G. F. Froment, K. B. Bischoff y J. D. Wilde, Chemical Reactor Analysis and Design, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [19] A. B. Juan, Operaciones básicas de transmisión de calor, Castellón de la plana: Publicacions de la Universitat Jaume I, 2003.
- [20] D. Q. Kern, Process Heat Transfer, London: McGraw-Hill, 1950.
- [21] O. Levenspiel, Ingeniería de las Reacciones Químicas, Barcelona: Reverté, 1986.

- [22] A. Peloso, M. Moresi, C. Mustachi y B. Soracco, «Kinetics of the Dehydrogenation of Ethanol to Acetaldehyde on Unsupported Catalysts,» *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, pp. 159-164, Abril, 1979.
- [23] R. H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*, Naucalpan de Juárez: McGraw-Hill, 1992.
- [24] P. E. Peters y R. S. S. Harriott, «Heat Transfer in Packed-Tube Reactors,» *American Chemical Society*, pp. 226-233, 1988.
- [25] H. S. Fogler, *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*, México: Prentice Hall, 2001.
- [26] C. M. C. Casas, *Planta de producción de acetato de etilo mediante deshidrogenación catalítica de etanol*, Santiago de Compostela, 2018.
- [27] M. D. Rodrigo Carbonell, *Operaciones básicas de flujo de fluidos*, Castellón de la Plana: Publicaciones de la Universidad Jaume I, 2003.
- [28] E. M. Gimeno, *Seguridad e Higiene Industrial en la Industria Química*, Castellón de la Plana: Publicaciones de la Universidad Jaume I, 2007.
- [29] Apuntes EQ1021 Ingeniería de la Reacción Química.
- [30] Apuntes EQ1039 Operaciones de Separación Especiales.

5.3 Programas empleados

Los programas empleados durante la realización del proyecto han sido:

- Microsoft Word 2016
- Microsoft Excel 2016
- Microsoft Visio 2016
- Microsoft Project 2016
- Scilab 6.0.1
- PTC Mathcad Prime 4.0
- Autocad 2016
- CYPE

6 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

En la *tabla M. 8* se muestra la simbología empleada en el proyecto.

Tabla M. 8 Simbología empleada

Letra	Significado	Uds.
A	Área de intercambio de calor	m ²
B	Parámetro adimensional de la cond. efectiva	-
C _d	Corte del deflector	-
C _{AI}	Concentración quimisorbida de A	mol/m ³
C _i	Concentración del sitio vacante	mol/m ³
C _p	Calor específico	J/kg·K
d _p	Diámetro de partícula de catalizador	m
D	Diámetro	m
e	espesor	m
f	Factor de fricción	-
F	Caudal molar	mol/s
G	Flujo másico	kg/m ² ·s
h	Coefficiente individual de transmisión de calor	W/m ² ·K
h _j	Entalpía de una especie química j	J/mol j
H	Entalpía de reacción	J/mol
i	Tensión de diseño	MPa
j _n	Factor para la transferencia de calor	-
J	Pendiente de la recta adiabática (T = f(X))	K
k	Conductividad térmica	W/m·K
k _i	Coef. de adsorción/Ctes. de velocidad y eq.	Ver Anejo 4
K	Factor empleado en el método de Kern	-
l	Distancia entre deflectores	m
L	Longitud de una tubería	m
m	Caudal másico	kg/s
M	Masa total	kg
n	Exp. Politrópico/Factor empleado en el M. Kern	-
N _t	Número de tubos	-
Nu	Número de Nusselt	-
p	Distancia entre los centros de 2 tubos	m
p _j	Presión parcial	atm
P	Presión	atm
Pe	Número de Peclet	-
PM	Peso molecular	kg/mol
Pr	Número de Prandtl	-
q	Flujo de calor	W
Q*	Transmisión de calor	kJ/s
Q _v	Caudal volumétrico	m ³ /s
r	Velocidad de reacción/Relación de compresión	mol/kg cat·h / -

Letra	Significado	Uds.
R	Constante de los gases ideales	atm·L/mol·K
R_j	Velocidad de reacción del componente j	mol j/kg cat·h
Re	Número de Reynolds	-
S	Sección transversal	m ²
t	Tiempo	s
T	Temperatura	K
U	Coficiente global de transmisión de calor	W/m ² ·K
v	Velocidad	m/s
V	Volumen del reactor	m ³
W	Potencia	W
\hat{W}	Trabajo	J/kg
x_j	Fracción molar	mol j/mol total
X	Grado de conversión	-
Y	Factor de corrección	-
Z	Relación de temperaturas	-
Letra Griega	Significado	Uds.
Δ	Incremento	-
α	Relación de temperaturas	-
ρ	Densidad	kg/m ³
ϵ	Variación del número de moles / Rugosidad	- / m
ϵ_i	Porosidad	m ³ poro/m ³ total
ν_j	Coef. estequiométrico del componente j	-
ν_k	Coef. estequiométrico del componente clave	-
ξ	Constante de integración	$\frac{\text{mol}\cdot\text{m}}{\text{h}\cdot\text{kg cat.}}$
θ	Relación molar de entrada/tiempo residencia	mol j/mol k / s
λ	Constante de integración	$\frac{\text{kg etanol}}{\text{h}\cdot\text{kg cat.}}$
μ	Viscosidad dinámica	Pa·s
δ	Constante de integración	$\frac{\text{kg etanol}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}}{\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{K}\cdot\text{h}\cdot\text{kg cat.}}$
ℓ	Longitud del reactor	m
Γ	Caudal de condensado por unidad de longitud	kg/s·m
\mathcal{L}	Calor latente de condensación	J/kg
ψ	Espesor de la película de condensado	mm
ϕ	Exponente adiabático (c_p/c_v)	-
η	Rendimiento del compresor	-
ω_j	Fracción másica del componente j	kg j/kg totales
ABREVIATURA	Significado	
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association	

El subíndice *m* se refiere a media logarítmica.

7 REQUISITOS DE DISEÑO

Para llevar a cabo el presente proyecto, será necesario conocer las condiciones y características de la corriente alimento y el catalizador que se va a emplear en la instalación.

7.1 Condiciones y características de la corriente alimento

Se considera que la corriente alimento es una corriente de etanol puro a 90°C, que se encuentra en fase gas.

El etanol se calienta en un intercambiador de calor hasta los 285°C y se introduce al reactor.

El caudal de etanol en fase gas que se alimenta a la instalación es de 5.969,94 kg/h. Teniendo en cuenta que en el reactor se alcanza una conversión del 45%, una parte de este etanol no reacciona, y se recircula, el caudal de etanol recirculado es de 3.309,78 kg/h. Teniendo en cuenta el etanol no reaccionado, el caudal de etanol que se debe suministrar de forma externa al circuito interno es de 2.659,16 kg/h.

7.2 Condiciones y características del catalizador

El catalizador, cromita de cobre, se presenta en forma de partículas esféricas, con un diámetro de 5 mm, y una porosidad del 50%.

Las partículas de catalizador se disponen de forma que constituyen un lecho fijo de partículas con un empaquetamiento del 50%.

8 ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Para diseñar la instalación de acetaldehído es necesario determinar, entre las posibles opciones disponibles, aquella que sea óptima para el objetivo del presente proyecto. Por ello, en este apartado se van a exponer los equipos principales que forman la instalación, así como las posibles opciones que estos pueden tener para seleccionar la opción más favorable en las condiciones del presente proyecto.

Los principales equipos de la instalación son: el intercambiador de calor, el reactor y los equipos de impulsión de fluidos.

8.1 Intercambiador de calor

La unidad previa al reactor es el intercambiador de calor, necesario para alcanzar la temperatura óptima de reacción. En este apartado se van a describir los distintos tipos de intercambiadores de calor existentes de acuerdo con las normas TEMA.

El intercambiador de calor de coraza y haz de tubos es el equipo de transmisión de calor más empleado en la industria química debido a que:

- Proporciona una elevada superficie de intercambio de calor en un volumen pequeño.
- Presenta una geometría adecuada para operar a elevadas presiones.
- Los procedimientos para el diseño están bien definidos.
- Las técnicas de fabricación están bien establecidas.
- Se puede emplear una amplia gama de materiales para su construcción.

Su diseño se basa en un haz de tubos encerrados en un recipiente cilíndrico, la coraza, de forma que un fluido circula por el interior de los tubos y otro por la coraza, como se muestra en la *figura M. 7*.

Además de la coraza y el haz de tubos, también se instalan unas placas deflectoras, separadas una distancia fijada en consonancia con las normas TEMA.

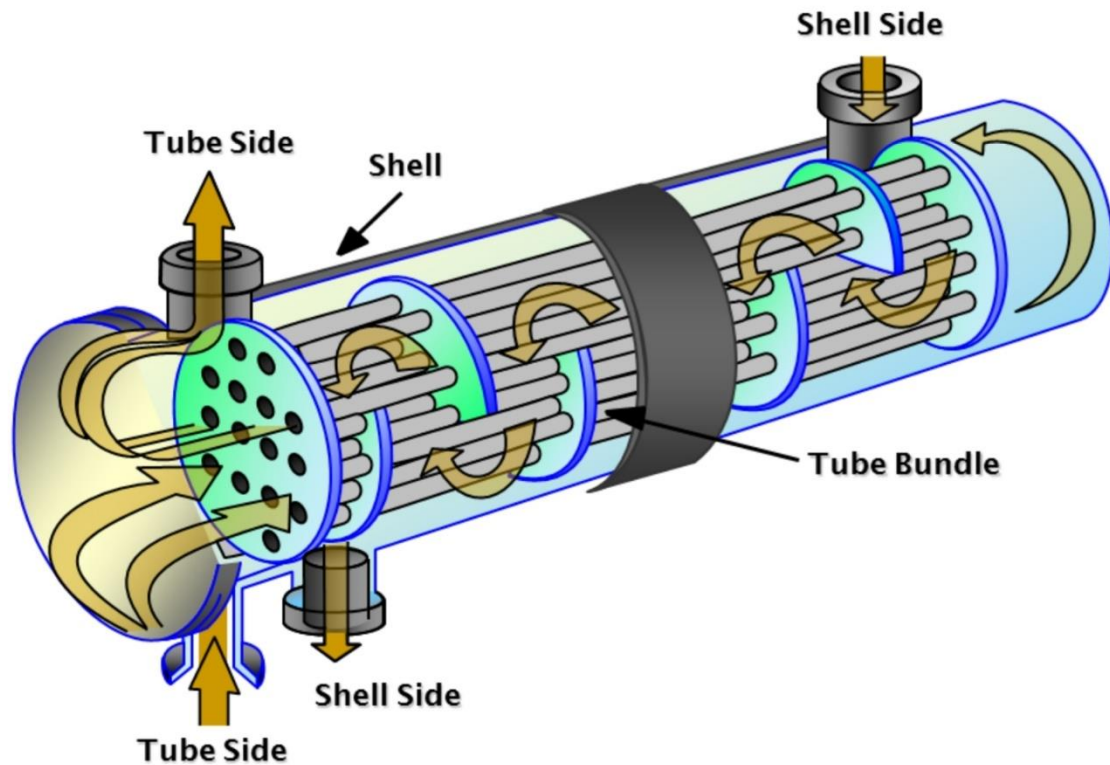


Figura M. 7 Esquema general de un intercambiador de calor de coraza y haz de tubos

A continuación, se detallan los principales tipos de intercambiadores de calor de coraza y haz de tubos.

- Intercambiador de placa de tubos fija o espejo fijo

Es el intercambiador de calor de coraza y haz de tubos más sencillo y más barato de construir, *figura M. 8*. Las dos placas de tubos son fijas y se encuentran unidas a la coraza. Los principales inconvenientes de este tipo de intercambiadores son:

- No se puede extraer el haz de tubos para limpiarlo.
- No se ha previsto la posible dilatación de la coraza y el haz de tubos, debido a que los fluidos que contienen están a distintas temperaturas.

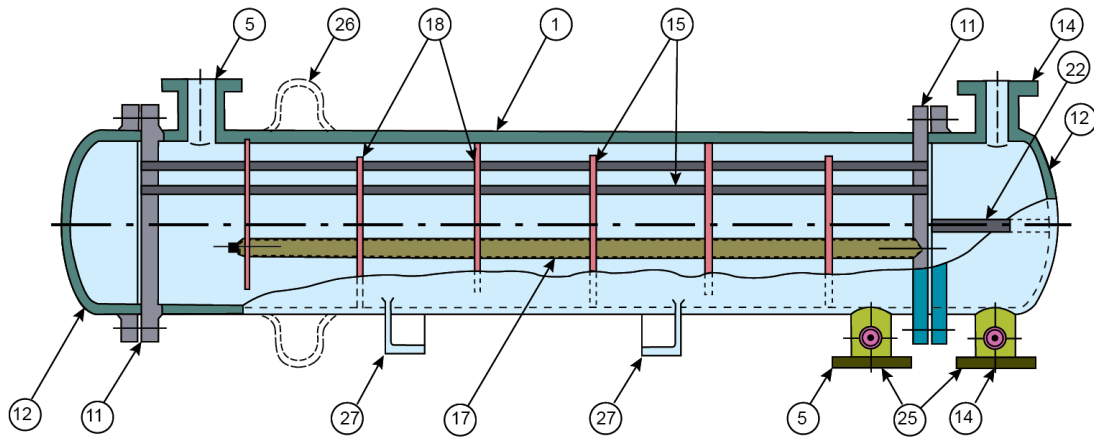


Figura M. 8 Esquema de un intercambiador de calor de placa de tubos fija

- Intercambiador de calor de tubos en U

Este tipo de intercambiadores de calor precisa de una única placa de tubos. Su uso está condicionado a la utilización de fluidos relativamente limpios, ya que los tubos son difíciles de limpiar. El esquema general de este tipo de intercambiadores se muestra en la *figura M. 9*.

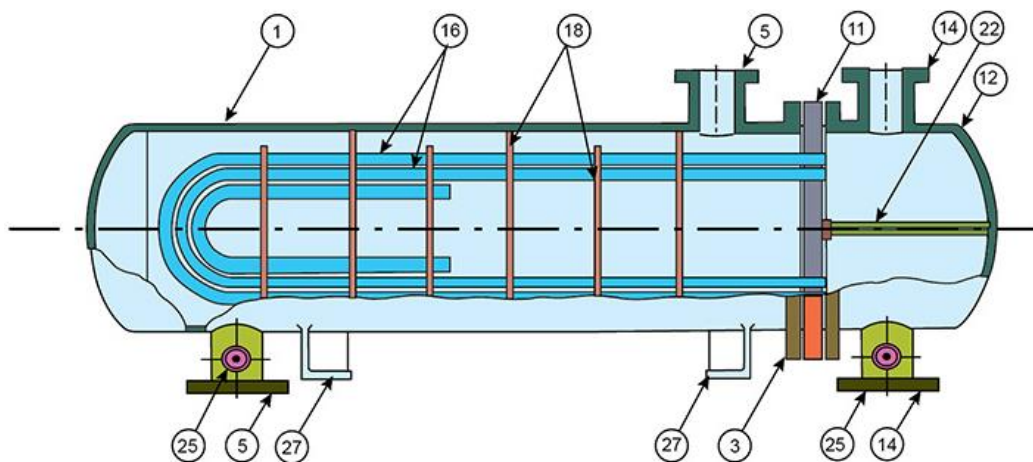


Figura M. 9 Esquema de un intercambiador de calor de tubos en U

- Intercambiador de calor con cabezal flotante interno

Este tipo de intercambiador resulta adecuado para elevadas diferencias de temperatura entre los fluidos, además, el haz de tubos se puede extraer, de modo que los tubos se pueden limpiar con mayor facilidad. Gracias a esto, se puede emplear con fluidos que ensucian. Dentro de este tipo de intercambiadores de calor existen 2 grandes grupos:

- Con cabezal flotante interno sin dispositivo de apoyo

El principal inconveniente que presentan es que el espacio entre los tubos más externos del haz de tubos y la superficie interna de la coraza es bastante elevado por la necesidad de acoplar el cabezal flotante, esto puede generar una corriente paralela ajena a la corriente principal. El esquema general se muestra en la *figura M. 10*.

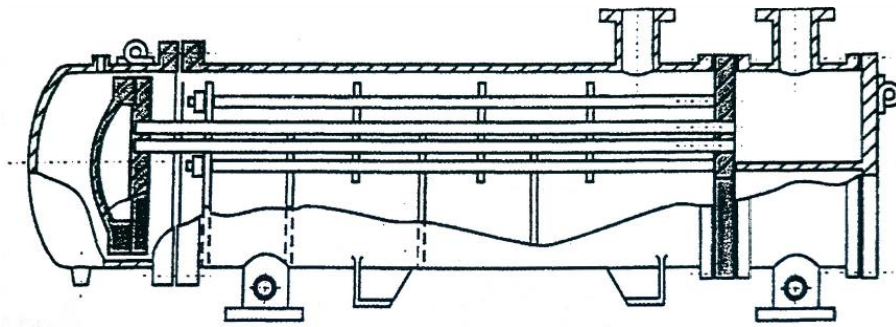


Figura M. 10 Esquema de un intercambiador de calor con cabezal flotante interno y sin dispositivo de apoyo

- Con cabezal flotante interno con dispositivo de apoyo

Este tipo de intercambiador de calor permite disminuir el espacio existente entre los tubos más externos del haz de tubos y la superficie interior de la coraza. El esquema general se muestra en la *figura M. 11*.

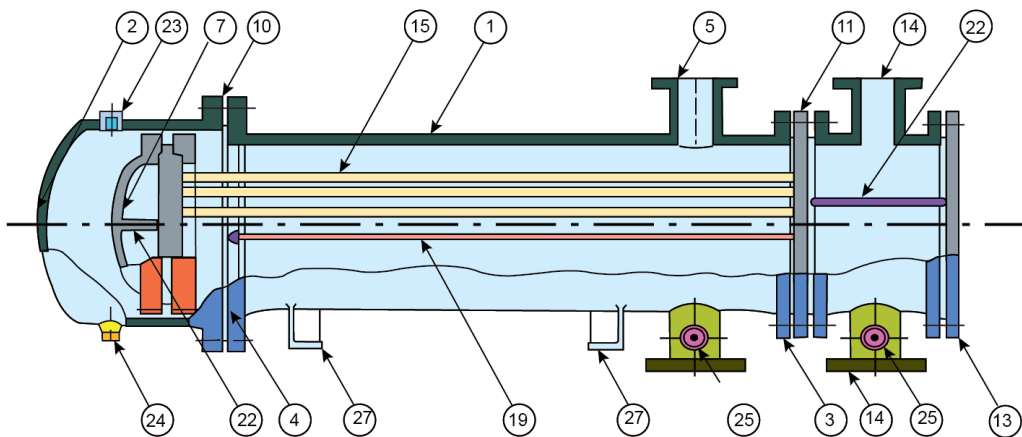


Figura M. 11 Esquema de un intercambiador de calor con cabezal flotante interno y con dispositivo de apoyo

- Intercambiador de calor con cabezal flotante externo

En este tipo de intercambiadores de calor el cabezal flotante se encuentra en el exterior de la coraza y se introduce parcialmente en la coraza, pudiéndose deslizar por el interior

de esta. El uso de este tipo de intercambiadores está limitado a operaciones cuya presión de trabajo sea inferior a 20 atm, debido a que el riesgo de escapes de fluido a través de la junta es elevado. El esquema general se muestra en la *figura M. 12*.

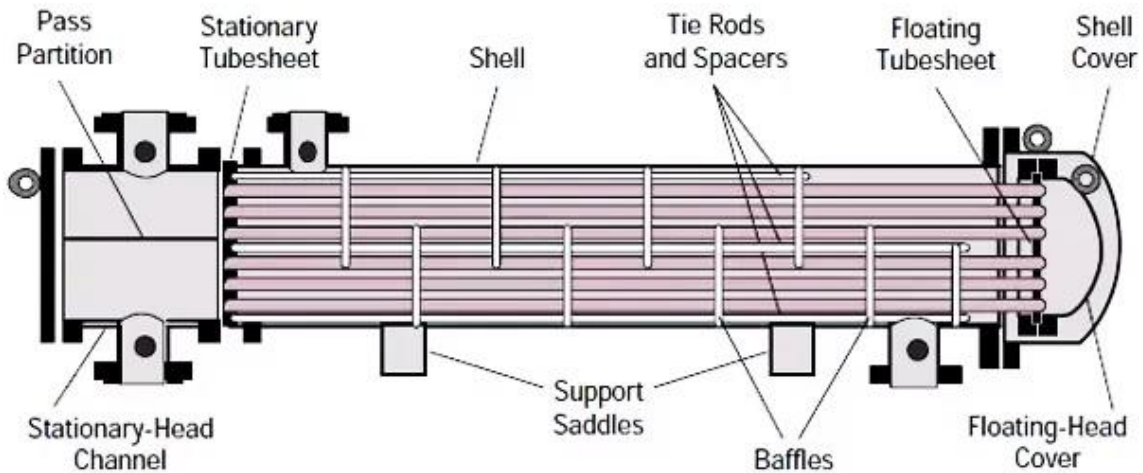


Figura M. 12 Esquema de un intercambiador de calor con cabezal flotante externo

A continuación, se describen las partes principales del intercambiador de calor de coraza y haz de tubos:

- Haz de tubos

El haz de tubos es la parte más importante de un intercambiador de calor. En general suele ser el componente más caro y el que se corroe con mayor facilidad. El haz de tubos está compuesto por un número determinado de tubos cilíndricos unidos a dos placas tubulares perpendiculares a ellos.

- Coraza

La coraza es la parte del intercambiador que contiene el haz de tubos y por la cual circula uno de los 2 fluidos empleados. Su diámetro interior se debe seleccionar de forma que se ajuste en mayor medida al diámetro del haz de tubos.

A la hora de definir las especificaciones generales y específicas de diseño del intercambiador de calor, se recurre a las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.).

Las normas TEMA incluyen distintos tipos de corazas en función del número de pasos que realiza el fluido por los tubos o los puntos de alimentación. Las distintas configuraciones se muestran en la *figura M. 13*.

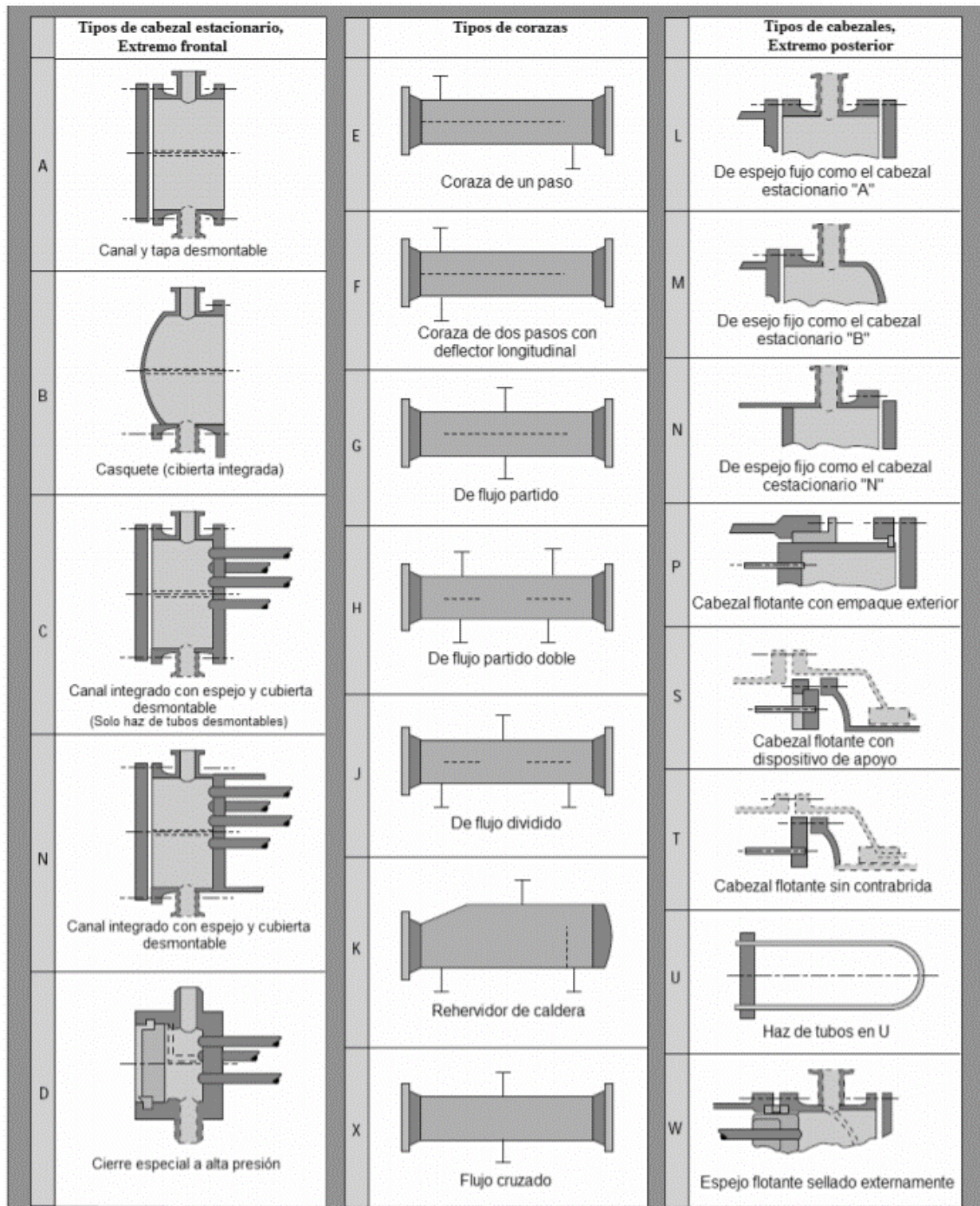


Figura M. 13 Distintas corazas de acuerdo con las normas TEMA

A continuación, se detallan los tres tipos de coraza más comunes en los intercambiadores de calor de coraza y haz de tubos.

➤ Coraza tipo E

La coraza tipo E es un tipo de coraza muy frecuente en la que como se ve en la *figura M. 13*, las toberas de entrada y salida del fluido que circula por la coraza están situadas en extremos opuestos del intercambiador de calor, aunque pueden situarse en el mismo lado o en lados opuestos en función del número de deflectores.

➤ Coraza tipo F

La coraza tipo F se emplea en situaciones especiales, precisa la instalación de una placa longitudinal que dirija el flujo de fluido por la coraza de modo que este presente 2 pasos por la coraza. Las toberas de entrada y salida del fluido se encuentran situadas en el mismo extremo del intercambiador. Para evitar que la placa longitudinal sea muy gruesa, se requiere que la pérdida de carga del fluido que circula por la coraza no supere las 0,7 atm, del mismo modo, la temperatura no debe superar los 195°C puesto que se generarían tensiones en la placa longitudinal, la coraza y el haz de tubos.

➤ Coraza tipo J

La coraza tipo J, de flujo dividido, tiene una tobera de entrada doble central y dos toberas de salida situadas en sendos extremos. Normalmente se emplea con la finalidad de disminuir la pérdida de carga del fluido que circula por la coraza, sobre todo en aquellos casos donde la pérdida de carga sea un punto determinante del diseño.

- Deflectores

Los deflectores se instalan en la parte interior de la coraza para dirigir el fluido de forma perpendicular a los tubos, incrementar la velocidad de flujo y mejorar la velocidad de transmisión de calor.

- Placas de tubos

Durante el funcionamiento normal del intercambiador, la placa de tubos está sometida a dos presiones, la del fluido que circula por los tubos y la del fluido que circula por la

coraza, constituye la barrera física que separa sendos fluidos. Para casos especiales se puede emplear una placa de doble pared.

8.1.1 Fluidos de calefacción

Los fluidos de calefacción empleados para el calentamiento u enfriamiento (según la función del intercambiador de calor), pueden presentarse en forma de líquidos o gases.

8.1.2 Selección del tipo de intercambiador de calor y del fluido de calefacción

Debido a la disponibilidad de una corriente de vapor de agua generado en la propia planta, se decide emplear vapor de agua a 350°C y 1 atm como fluido de calefacción.

En base a los caudales a emplear, las condiciones de operación y los componentes, se decide que el intercambiador de calor a emplear será un intercambiador de calor de coraza y haz de tubos, con un paso por la coraza y dos pasos por los tubos, para la coraza se decide emplear la coraza tipo E con cabezal flotante interno sin dispositivo de apoyo. Las toberas de entrada y salida del fluido que circula por la coraza están situadas en extremos opuestos del intercambiador de calor.

8.2 Reactor

En el contexto de la industria química, un reactor químico se entiende como la unidad de proceso diseñada para llevar a cabo una o varias reacciones químicas [8]. A la hora de estudiar los reactores se debe tener en cuenta que existen distintas clasificaciones.

8.2.1 Clasificación

8.2.1.1 Según el modo de operación

- Continuos

Los reactores continuos operan en régimen estacionario (tras un periodo de puesta en marcha con un comportamiento no estacionario), puesto que la composición y las propiedades físicas de la mezcla de reacción se muestran invariantes con el tiempo. El montaje de reactores continuos es característico de operaciones a gran escala, reducen

los costes de operación, pero presentan una mayor inversión inicial. La *figura M. 14* muestra un esquema general de un reactor continuo de tanque agitado.

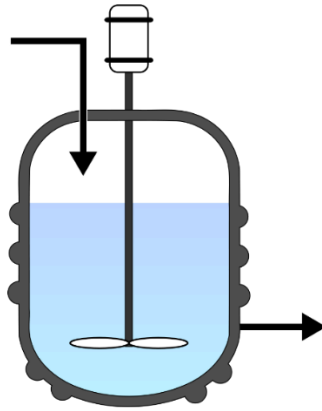


Figura M. 14 Esquema general de un RCTA

- Discontinuos

Los reactores discontinuos funcionan en régimen no estacionario, ya que la composición y propiedades físicas de la mezcla de reacción varían con el tiempo. Se emplean en operaciones a pequeña escala, como en los laboratorios, y para la caracterización de propiedades y/o características de distinta índole, como el caso de la caracterización de una enzima en la cinética microbiana. Se emplean para la obtención de pequeñas cantidades de producto, generalmente con un alto valor añadido. Su uso resulta de interés debido a baja inversión inicial. La *figura M. 15* muestra un esquema general de un reactor discontinuo de tanque agitado.

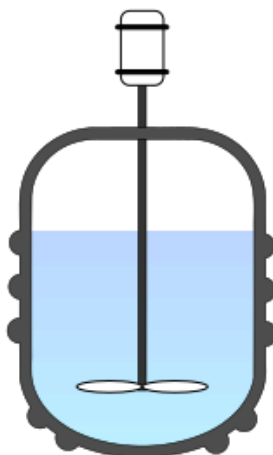


Figura M. 15 Esquema general de un RDTA

- Semicontínuos

Los reactores semicontínuos abarcan todos los reactores no comprendidos en los casos anteriores. El reactor semicontínuo es un sistema flexible pero más difícil de analizar que los otros dos tipos; ofrece un buen control de la velocidad de reacción, debido a que esta transcurre a medida que se añaden los reactivos. Este reactor tiene múltiples aplicaciones: desde su empleo en el laboratorio, hasta su uso en los grandes hornos de solera plana para la obtención de aceros.

8.2.1.2 Según el modo de flujo y contacto de la mezcla de reacción

- Reactores de mezcla completa o perfecta

Reactor cuyo contenido está perfectamente agitado, y su composición en cada instante es la misma en todos los puntos del reactor. Por consiguiente, la corriente de salida de este reactor tiene la misma composición que la del fluido contenido en el mismo.

- Reactores de flujo de pistón

Se caracterizan porque el flujo del fluido a su través es ordenado. En este reactor puede haber mezcla lateral de fluido, pero nunca ha de existir mezcla o difusión a lo largo de la trayectoria de flujo. La condición necesaria y suficiente para que exista flujo en pistón es que el tiempo de residencia en el reactor sea el mismo para todos los elementos del fluido. La *figura M. 16* muestra un esquema general de un reactor de flujo de pistón.

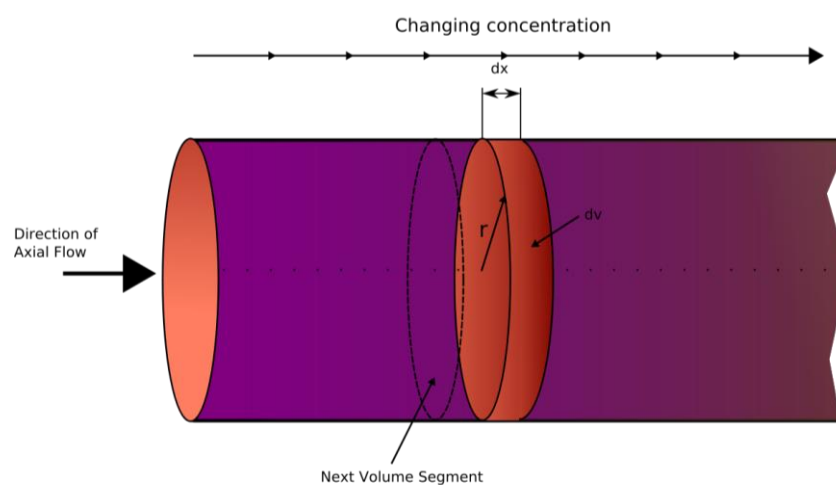


Figura M. 16 Esquema general de un RFP

8.2.1.3 Según las fases que albergan

- Reactores homogéneos

Los reactores homogéneos se caracterizan por operar con una sola fase, bien sea una fase líquida o bien sea una fase gas.

- Reactores heterogéneos

Los reactores heterogéneos se caracterizan por operar con más de una fase, pudiendo darse reacciones del tipo gas-sólido, sólido-sólido, sólido-líquido o líquido-líquido. Además, pueden ser también catalíticas, es decir, que la reacción se desarrolla en presencia de un catalizador el cual acelera la reacción.

Los reactivos gaseosos pueden contactar con el catalizador de distintas formas, las más comunes son el lecho fijo y el lecho fluidizado, aunque existe una tercera categoría intermedia, que son los lechos móviles, este incluye ventajas y desventajas de los dos tipos anteriores.

A continuación, se muestra una comparativa de los dos tipos principales:

1. Al atravesar los lechos fijos, los gases se aproximan al flujo de pistón, pero en los lechos fluidizados el flujo es más complejo y no se asimila al flujo de pistón. Este comportamiento no interesa desde el punto de vista del contacto efectivo ya que requiere más catalizador para alcanzar mayores conversiones. Con esto, se concluye que se consigue un mejor contacto empleando un lecho fijo.
2. El control de la temperatura en lechos fijos grandes puede acabar siendo un problema porque los sistemas se suelen caracterizar por una baja conductividad térmica. De este modo, en reacciones fuertemente exotérmicas se pueden formar puntos calientes no deseados, ver *figura M. 17*. Por el contrario, la rápida mezcla en los lechos fluidizados permite alcanzar condiciones isotermas. Con esto, se puede concluir que, para aquellas operaciones donde la temperatura sea un aspecto muy relevante, se recomienda el uso de lechos fluidizados.

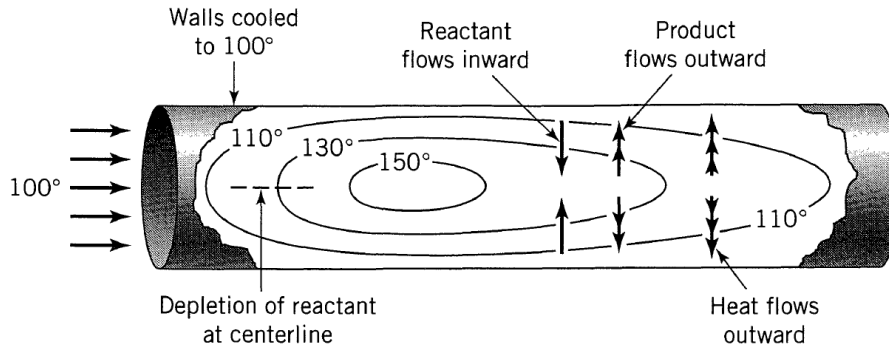


Figura M. 17 Puntos calientes en un reactor heterogéneo

3. Los lechos fijos no pueden emplear partículas de catalizador muy pequeñas puesto que generan grandes pérdidas de carga, mientras que los lechos fluidizados admiten partículas de tamaño reducido.

8.3 Reactor de lecho empaquetado o "Packed Bed Reactor"

La literatura establece que la reacción de deshidrogenación de etanol se debe llevar a cabo en un reactor heterogéneo, empleando un lecho fijo de catalizador para aumentar la velocidad de reacción, de modo que se da una reacción gas-sólido. En la *figura M. 18* se muestran los distintos modos de operación de los reactores catalíticos de lecho fijo, también conocidos como reactores de lecho empaquetado o "Packed Bed Reactors".

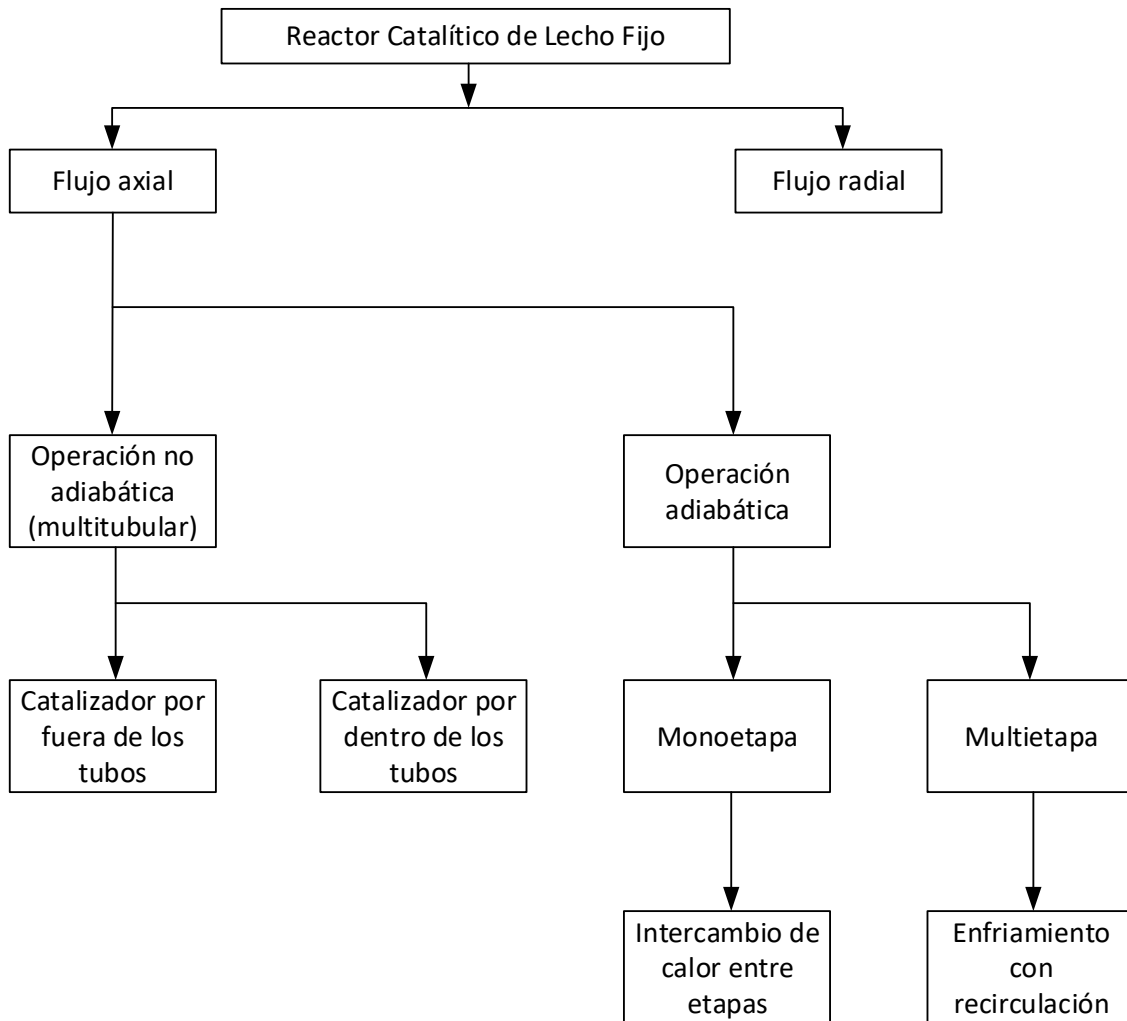


Figura M. 18 Esquema de los distintos tipos de reactores catalíticos de lecho fijo

Los reactores de lecho empaquetado son los reactores catalíticos más empleados en la industria química. Están compuestos por uno o varios tubos rellenos de catalizador (ver *figura M. 19*), con su correspondiente empaquetamiento, por los cuales, el fluido entra por un extremo y sale por el opuesto. El fluido fluye a través de los huecos creados entorno a las partículas de catalizador.

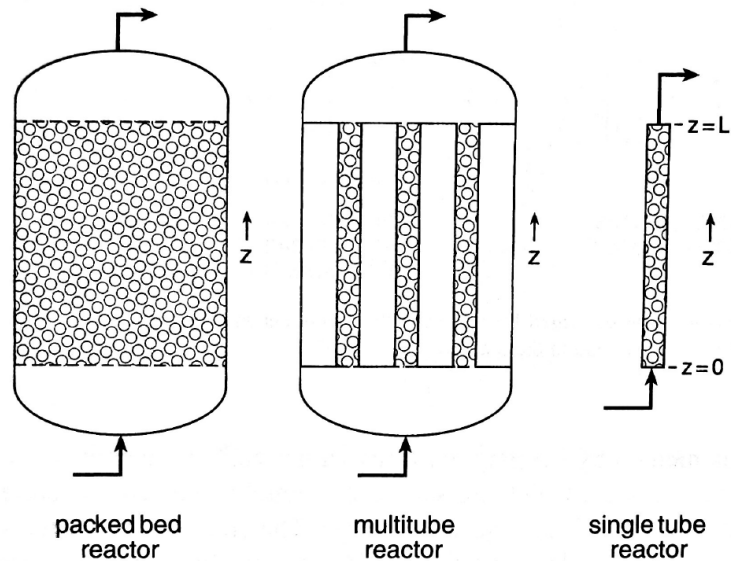


Figura M. 19 Distintos tipos de reactores de lecho empaquetado

Los órganos humanos como el hígado son un ejemplo muy claro de un reactor de lecho empaquetado en la naturaleza. Las enzimas de la superficie catalizan las reacciones en la sangre que fluye a través del hígado, aunque la geometría, el flujo y la selectividad de la reacción son mucho más complejas [9].

8.3.1 Catalizador

La velocidad de una reacción química se puede modificar mediante la presencia de unas sustancias que no se consideran ni reactivos ni productos, estas sustancias se conocen como catalizadores y producen un aumento de la velocidad de reacción [10].

Los catalizadores pueden ser sólidos o líquidos, los catalizadores sólidos pueden perder su actividad catalítica con el tiempo. La presencia de un catalizador puede acelerar la velocidad de reacción en un orden de $10^3 - 10^6$ veces.

Sus características se pueden resumir en:

- Selectividad: Capacidad que tienen los catalizadores para actuar en ciertas reacciones y no hacerlo en otras.
- Aumentan la velocidad de reacción o favorecen una reacción frente a otra, pero no determinan el equilibrio o el punto final de la reacción, estos vendrán determinados por cuestiones termodinámicas.

- Para aplicar un catalizador adecuado a una determinada reacción son necesarios un elevado número de ensayos y pruebas.
- La actividad del catalizador depende de su composición química y su estructura física.
- En presencia de un catalizador las moléculas de reactivos debilitan sus enlaces o forman intermedios en las proximidades de la superficie del sólido.
- De acuerdo con la teoría del estado de transición, el catalizador reduce la barrera de energía potencial que se debe superar para que los reactivos pasen a productos, esto hará que disminuya la energía de activación y aumentará la velocidad de reacción, como se aprecia en la *figura M. 20*.

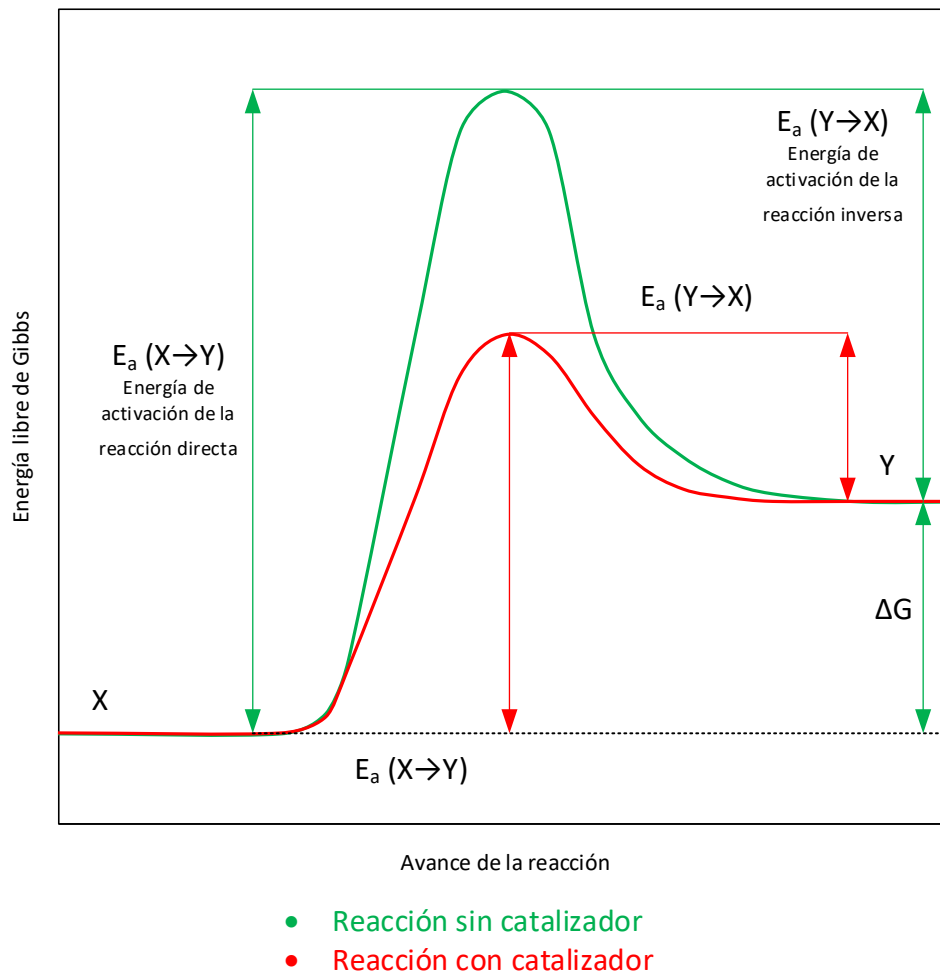


Figura M. 20 Variación de la energía de activación con el avance de la reacción

8.3.2 Desactivación del catalizador

La actividad del catalizador no siempre permanece constante, se va reduciendo. En ocasiones la reducción es muy rápida, en otras es tan lenta que la regeneración o la sustitución del catalizador se lleva a cabo después de varios meses de utilización.

Si la desactivación es rápida y causada por una deposición o un bloqueo de la superficie, el proceso se denomina ensuciamiento. La separación de este sólido se conoce como regeneración.

Si la superficie del catalizador se modifica lentamente por quimisorción en los sitios activos de sustancias que no se separan fácilmente, el proceso se denomina envenenamiento. La restauración de la actividad, cuando se puede, se denomina reactivación.

Si la adsorción es reversible, un cambio en las condiciones de operación puede reactivar el catalizador, si la adsorción es irreversible, se produce un envenenamiento permanente.

La desactivación también puede ser uniforme o selectiva en cuanto a los sitios activos.

8.3.3 Consideraciones de la reacción

Se debe tener en cuenta que la reacción de deshidrogenación de etanol es reversible, de modo que se deben abordar dos aspectos fundamentales, como son el equilibrio químico y la cinética.

- Equilibrio

De acuerdo con la ecuación de Van't Hoff, la constante de equilibrio aumenta al aumentar la temperatura en reacciones endotérmicas (*figura A4. 2*), que es el caso que ocupa [11].

La *ecuación M.1* representa la isobara de Van't Hoff.

$$\left(\frac{\partial \ln|K_e|}{\partial T}\right)_P = \frac{\Delta H^0}{R \cdot T^2} \quad (\text{M.1})$$

Teniendo en cuenta que la variación de la constante de equilibrio con la presión es despreciable, la *ecuación M.2* se puede reescribir como:

$$\frac{d \ln |K_e|}{dT} = \frac{\Delta H^0}{R \cdot T^2} \quad (\text{M.2})$$

- Cinética

Para una reacción endotérmica y reversible, la velocidad no alcanza un máximo para una temperatura constante, pero aumenta a medida que se aumenta la temperatura.

De entre las posibles reacciones, se opta por la deshidrogenación de etanol debido a su elevada selectividad, de modo que se puede considerar única, evitando así reacciones no deseadas. Como contrapunto a esta elevada selectividad, la reacción presenta un grado de conversión bajo, pero, puesto que únicamente están presentes los compuestos de la reacción, el número de etapas de separación y purificación (incluidas en el tren de separación) es menor, reduciendo el tamaño de la instalación y, por ende, los costes.

8.3.4 Selección del tipo de reactor

A la hora de diseñar un reactor catalítico de lecho fijo, se deben tener en cuenta, el balance de materia, el balance de energía y la pérdida de carga. La forma de abordar estos aspectos varía en función del modelo seleccionado, en la *figura M. 21* se muestran los distintos tipos de modelos existentes para diseñar un reactor catalítico de lecho fijo.

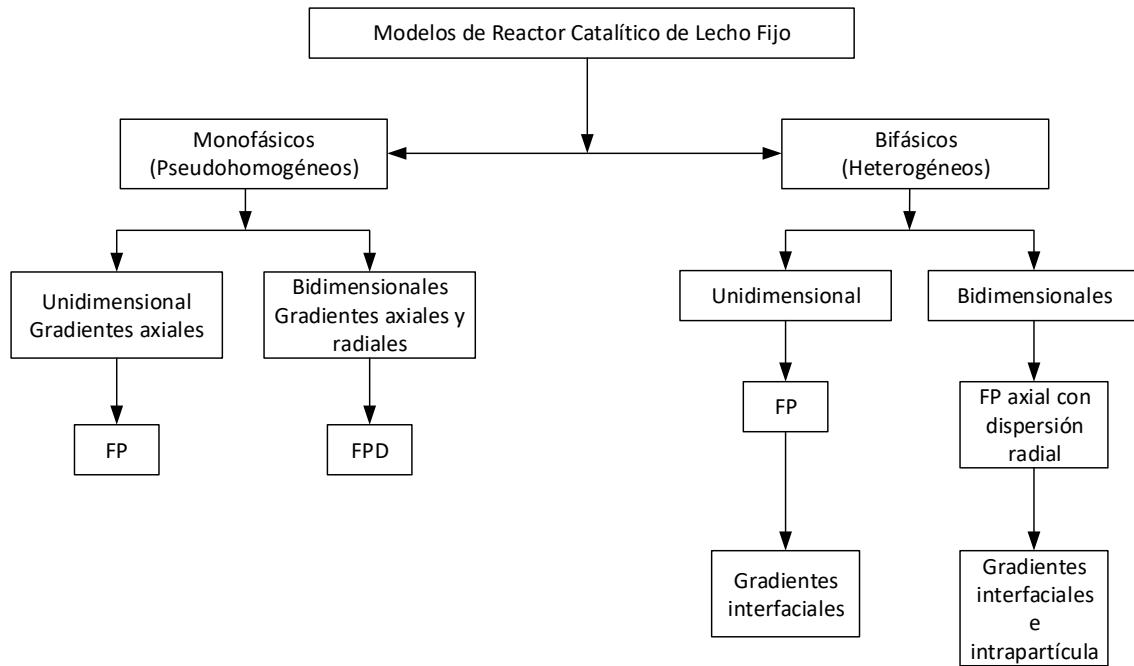


Figura M. 21 Esquema de los distintos modelos en un reactor catalítico de lecho fijo

NOTA: FP: Flujo de pistón; FPD: Flujo de pistón dispersado.

El modelo que se emplea en el diseño es el pseudohomogéneo, donde se desprecian los gradientes intrapartícula, de modo que, a lo largo de toda la sección transversal, las propiedades son homogéneas, como aproximación, se puede asumir que el comportamiento del reactor es equivalente al de un reactor de flujo de pistón. El sistema bifásico se trata como si únicamente hubiese una fase (monofásico). En los modelos pseudohomogéneos, los gradientes de conversión y temperatura únicamente siguen la dirección axial. En la *figura M. 22* se aprecian las principales diferencias entre los modelos unidimensionales y bidimensionales.

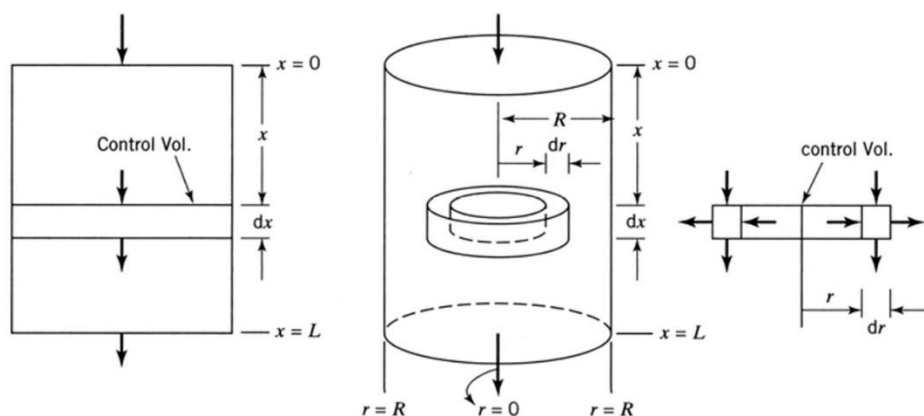


Figura M. 22 Diferencias entre los modelos unidimensionales y bidimensionales

El reactor que se ha seleccionado es un reactor catalítico de lecho fijo multifásico no adiabático y multitubular, donde coexisten la fase gas de los reactivos y los productos, y la fase sólida del catalizador. En este tipo de reactores el catalizador está presente en forma de pequeñas partículas que se disponen para formar un lecho fijo de partículas en el interior de los tubos. El fluido se mueve debido al flujo convectivo a través del retículo poroso (poros inter e intrapartícula) creado por las partículas de catalizador [12].

8.4 Compresores

Los equipos de impulsión de fluidos, como su propio nombre indica, son los encargados de impulsar y o comprimir los fluidos a través de las conducciones. La instalación que se está diseñando opera con gases, para impulsar y comprimir los gases entre los distintos equipos se emplean distintos tipos de aparatos.

Cinéticos o turbodinámicos

Dentro de este grupo hay de dos tipos:

- Centrífugos
 - Ventiladores
 - Soplantes
 - Compresores
- Flujo axial
 - Ventiladores
 - Soplantes
 - Compresores

Desplazamiento positivo

- Compresores alternativos
- Soplantes rotatorias

Los equipos cinéticos o turbodinámicos mueven el gas por la acción dinámica de las paletas rotatorias de uno o más impulsores, mientras que los equipos de

desplazamiento positivo confinan el gas en un espacio cerrado en el que se aumenta la presión a medida que se va reduciendo el volumen del espacio cerrado.

Para seleccionar el tipo de equipo se emplea la *figura M. 23*, que aporta de forma aproximada los rangos de uso de los distintos equipos.

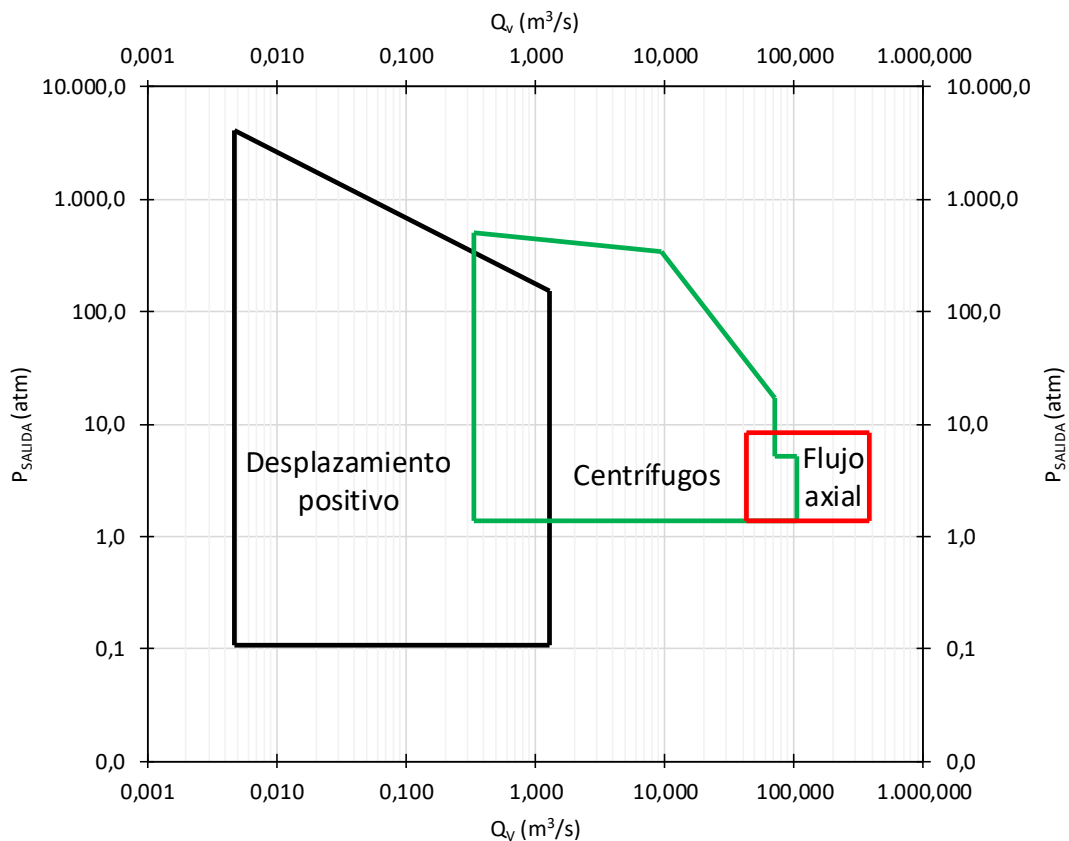


Figura M. 23 Rangos de aplicación de los distintos compresores

Se decide emplear equipos cinéticos de acuerdo con los caudales volumétricos de operación determinados en el documento *Anejos*. Dentro de los equipos centrífugos se encuentran los ventiladores, las soplantes y los compresores como se ha mencionado con anterioridad.

Los ventiladores impulsan el gas más que comprimirlo, mientras que las soplantes comprimen el gas hasta una presión de salida de unas 3 atmósferas, los compresores comprimen los gases a presiones superiores a las 3 atmósferas.

Para los rangos de presiones empleadas se instalarán soplantes, pero la literatura comprende dentro del grupo de los compresores a las soplantes, de modo que se denominará a los equipos de compresión, compresores de forma genérica.

La compresión puede ser de 4 tipos:

- Isoterma

En este tipo de compresión se asume que la temperatura del gas permanece constante.

- Adiabática

En este tipo de compresión se cumple la *ecuación M.3*.

$$P \cdot V^\phi = cte. \quad (M.3)$$

- Politrópica

En este tipo de compresión se cumple la *ecuación M.4*.

$$P \cdot V^n = cte. \quad (M.4)$$

- Escalonada

Este tipo de compresión se emplea cuando la razón de compresión es elevada (> 5), es más económico emplear un sistema de compresores en serie que uno solo.

8.4.1 Selección del tipo de compresor

De acuerdo con lo establecido en la literatura, la compresión politrópica es la más empleada a escala industrial para razones de compresión bajas, como es el caso que ocupa, por lo que se decide emplear compresores centrífugos, llevando a cabo una compresión politrópica.

9 RESULTADOS FINALES

Una vez realizado el análisis de soluciones, donde se han seleccionado los equipos más adecuados para la instalación, y tras realizar los cálculos mostrados en el documento *Anejos 3 - 9*, en el siguiente apartado se exponen los equipos necesarios y sus características. La *figura M. 24* muestra un esquema general de la instalación.

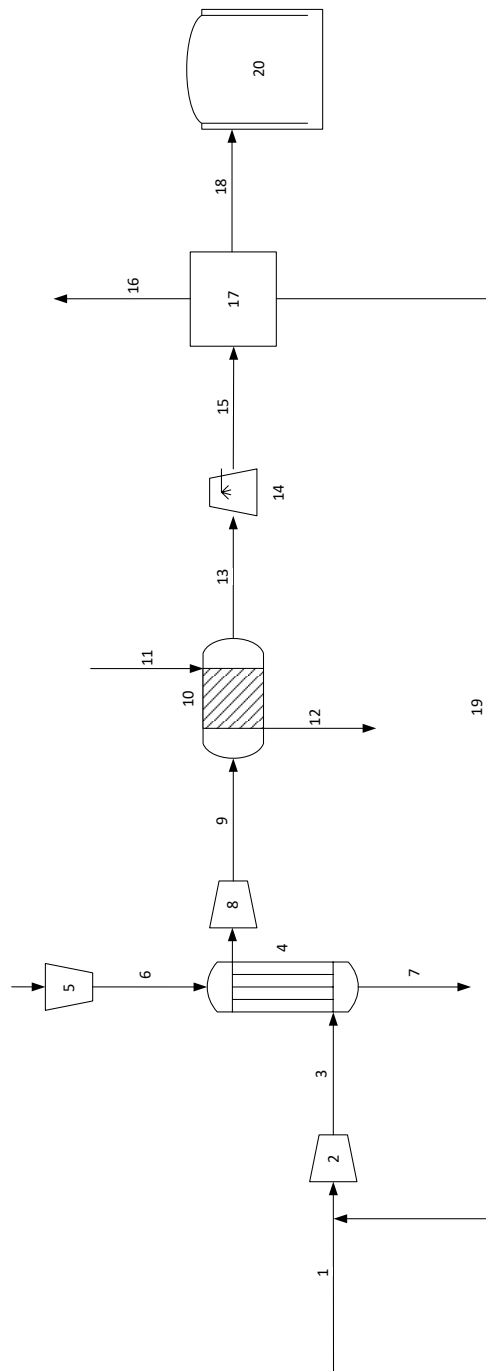


Figura M. 24 Diagrama de flujo de la instalación

La *tabla M. 9* recoge la leyenda de la *figura M. 24*.

Tabla M. 9 Elementos del diagrama de flujo

Diagrama de flujo	
1	Etanol frío
2	Compresor de etanol frío
3	Etanol comprimido
4	Intercambiador de calor
5	Compresor de vapor de agua caliente
6	Vapor de agua caliente comprimido
7	Vapor de agua frío
8	Compresor de etanol caliente
9	Etanol caliente
10	Reactor
11	DOWTHERM-A en fase gas
12	DOWTHERM-A condensado
13	Etanol no reaccionado + Acetaldehído + Hidrógeno
14	Torre de refrigeración
15	Productos fríos
16	Hidrógeno para la refinería
17	Tren de separación
18	Acetaldehído líquido
19	Etanol recirculado
20	Depósito de acetaldehído

9.1 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor a diseñar es un intercambiador de calor de coraza y haz de tubos, que debe calentar 5.968,94 kg/h de etanol puro. La finalidad del intercambiador de calor es elevar la temperatura del etanol hasta la temperatura de reacción recomendada por la literatura.

Para el diseño del intercambiador de calor se ha seguido el método de Kern, método iterativo que parte de unos valores supuestos a partir de la literatura, que divide el diseño del intercambiador de calor en distintas etapas, en cada una de estas etapas se deben determinar una serie de parámetros y se deben fijar otros, los parámetros que se fijan, se establecen de acuerdo a las normas TEMA.

Tanto el diagrama de flujo del método de Kern, como los valores establecidos por las normas TEMA, se encuentran recogidos en el *Anejo 3*.

El flujo de calor (q) del intercambiador de calor es de 599,11 kW y el caudal másico de vapor de agua (m_v) necesario para calentar el etanol es de 16.213,77 kg/h. El intercambiador de calor es multitubular, compuesto por 412 tubos, con un área de intercambio de calor de 51,15 m² y un coeficiente global de transmisión de calor de 126,36 W/m²·K.

En la *tabla M. 10* se recogen todos los parámetros del intercambiador de calor.

Tabla M. 10 Parámetros de diseño del intercambiador de calor

Variable	Valor	Unidades
m_{etanol}	5.968,94	kg/h
m_v	16.213,77	kg/h
q	599,11	kW
U_o	126,36	W/(m ² ·K)
A_o	51,15	m ²
L_{rt}	1,83	m
e_{pt}	25	mm
L_t	1,78	m
D_{ot}	22,23	mm
e_t	1,25	mm
D_{it}	19,73	mm
N_t	412	N.º de tubos
D_h	0,639	m
D_{ic}	0,730	m
m_{tubo}	0,022	kg/(s·tubo)
h^b	347,23	W/(m ² ·K)
l_d	0,292	m
S_c	0,043	m ²
G_c	38,88	kg/(m ² ·s)
v_c	30,45	m/s
h^a	240,30	W/(m ² ·K)
$(-\Delta P)_{\text{tubos}}$	0,636	atm
$(-\Delta P)_{\text{coraza}}$	0,494	atm

9.2 Reactor

El reactor a diseñar, como se ha mencionado en párrafos anteriores, es un reactor catalítico de lecho fijo multitubular donde se lleva a cabo la reacción de deshidrogenación de etanol para dar acetaldehído, hidrógeno y etanol no reaccionado.

El catalizador que se emplea es la cromita de cobre, empleando un total de 881,54 kg. El caudal de alimento al reactor es de 5.968,94 kg/h de etanol a 558,15 K y 2 atm. El reactor está compuesto por 200 tubos, que tienen una longitud de 1,45 m y un diámetro interno de 0,06 m. La porosidad del catalizador es del 50% y el lecho está empaquetado también al 50%. La conversión alcanzada en el reactor es del 45%.

En la *tabla M. 11* se recogen todos los parámetros del reactor.

Tabla M. 11 Parámetros de diseño del reactor

Característica	Valor	Uds.
N_t	200	-
D_{tubos}	0,060	m
espesor	0,010	m
D_{0t}	0,080	m
D_{hr}	1,618	m
D_{icr}	1,717	m
d_p	0,005	m
ϵ_{lecho}	0,5	m ³ poro/m ³ totales
T_f	650	K
T_0	558,15	K
P_0	2	atm
ℓ	1,450	m
X	0,45	-
T	548,07	K
P	1,89	atm

En la *tabla M. 12* se recogen los caudales de salida del reactor.

Tabla M. 12 Caudales de salida del reactor

CAUDALES DE SALIDA						
Etanol	19,96	mol/s	0,92	kg/s	3.309,78	kg/h
Acetaldehído	16,03	mol/s	0,71	kg/s	2.542,81	kg/h
Hidrógeno	16,03	mol/s	0,03	kg/s	116,36	kg/h
TOTAL	52,02	mol/s	1,66	kg/s	5.968,95	kg/h

9.3 Depósito de acetaldehído

El acetaldehído producido se almacena en un depósito cilíndrico en el que el diámetro y la altura son iguales y valen 9 m, aportando una capacidad de 572,56 m³.

9.4 Compresores

Se precisa la instalación de 3 compresores:

- Etanol frío
- Etanol caliente
- Vapor de agua caliente

En la *tabla M. 13* se recogen las potencias de los compresores diseñados y las unidades necesarias.

Tabla M. 13 Potencias de los compresores empleados

Compresor	W_{real} (kW)	Unidades
2	56,66	1
5	172,06	1
8	149,82	1

9.5 Conducciones

Las conducciones que se han diseñado son todas de acero inoxidable AISI 304 L con distintos tamaños en función del caudal de fluido que transportan. El diseño de las conducciones se ha realizado en conformidad con la norma UNE-EN 13480-3.

En el *Anejo 11* se recoge el catálogo con los diámetros y espesores normalizados suministrados por el fabricante.

En la *tabla M. 14* se recogen las características geométricas principales de las conducciones para cada uno de los distintos tramos estudiados.

Tabla M. 14 Parámetros de las conducciones

Tramo	3	9	14	6	12	19
D_0 (m)	0,1683	0,2191	0,2191	0,3239	0,0213	0,1683
e (mm)	3	3	3	3	2,6	3
D_i (m)	0,1623	0,2131	0,2131	0,3179	0,0161	0,1623

9.6 Distribución en planta

Definidos los equipos necesarios se puede elaborar una distribución en planta de los equipos diseñados que compondrán la instalación y así poder determinar el espacio que ocuparán.

La distribución en planta se muestra en la *figura M. 25*, y a partir de esta se obtiene el espacio necesario, que es de 1.250 m².

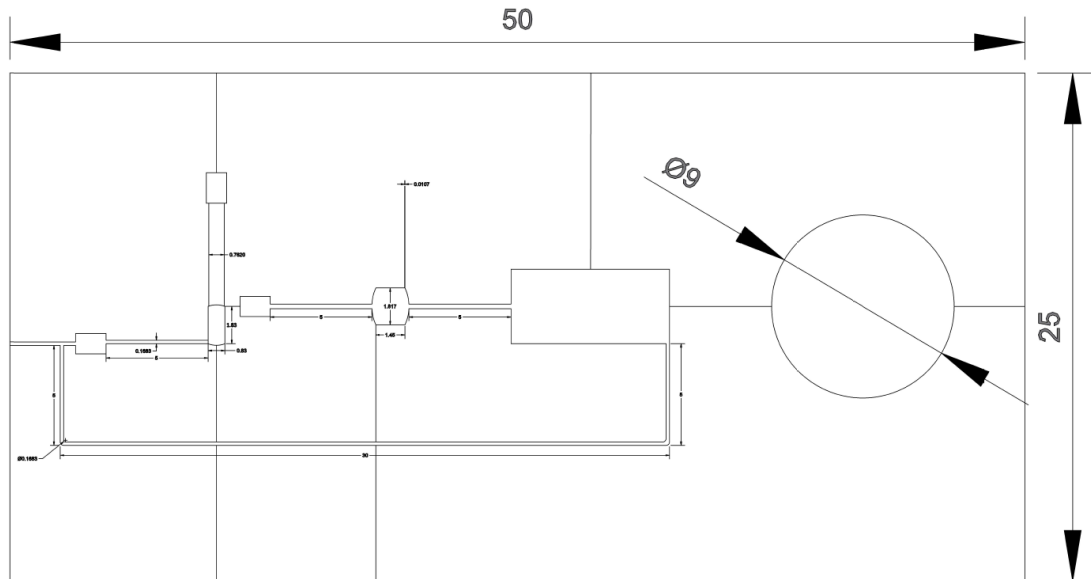


Figura M. 25 Distribución en planta de la instalación

el proyecto es para la empresa UBE Chemical Europe S. A. U., dicha instalación se emplaza en el complejo químico de UBE Chemical Europe S. A. U., en el Polígono Industrial El Serrallo, en Castellón. Las *figuras M. 26 - 29* muestran la localización de la empresa a nivel estatal, comunitario, local y portuario respectivamente.



Figura M. 26 Localización de la empresa a nivel estatal

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empacado



Figura M. 27 Localización de la empresa a nivel comunitario

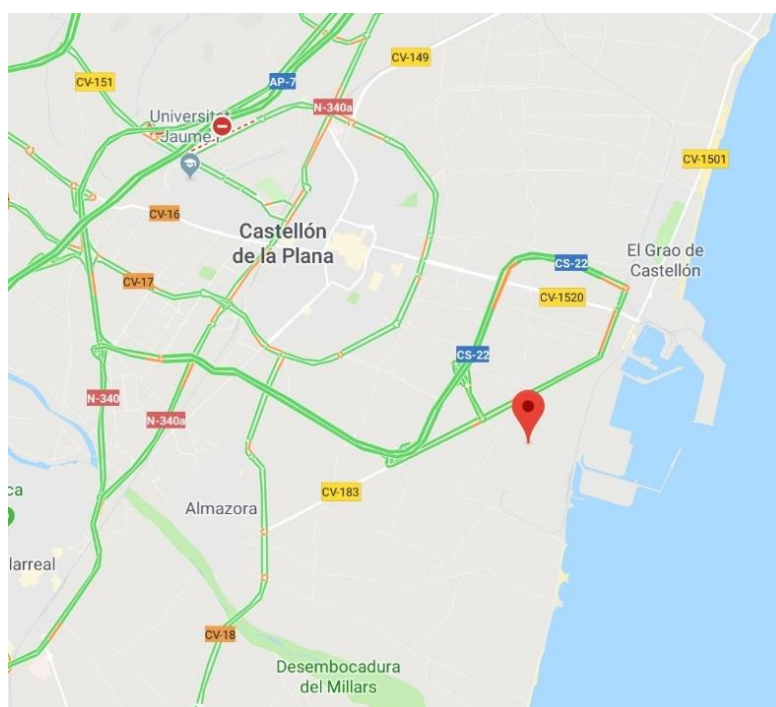


Figura M. 28 Localización de la empresa a nivel local

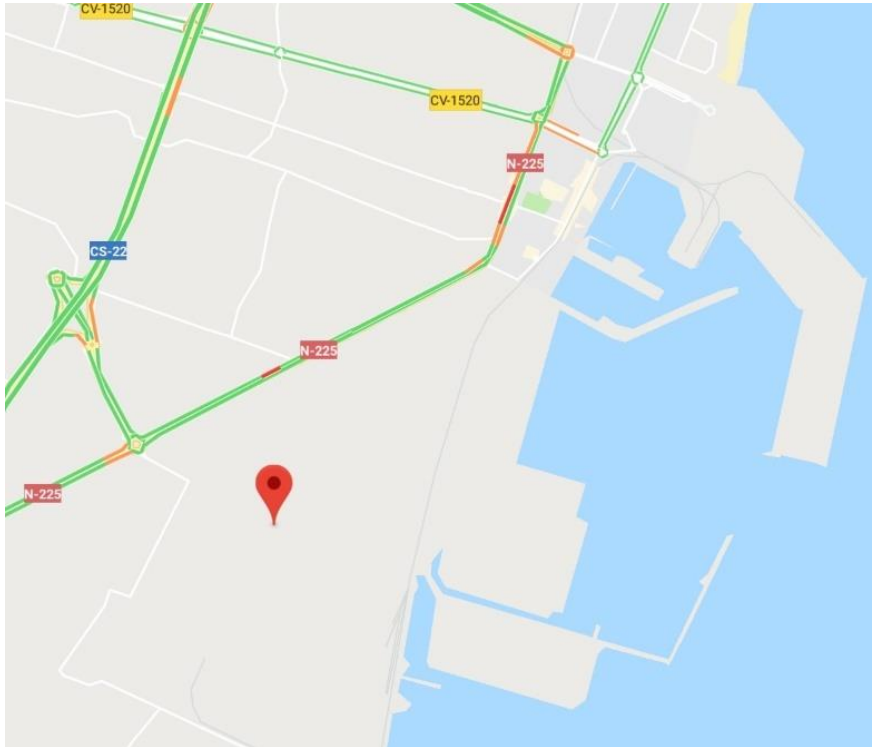


Figura M. 29 Localización de la empresa a nivel portuario

9.7 Consumos de la instalación

Para realizar el estudio económico es importante conocer la cantidad de materias primas que se requieren para la operación de la planta en continuo. Para llevar a cabo este cálculo se ha considerado que la planta opera de forma ininterrumpida las 24 horas del día, 350 días al año. En la *tabla M. 15* se recogen los consumos anuales de la instalación.

Tabla M. 15 Consumos anuales de la instalación

Consumo	Valor	Uds.
Etanol	22.337	t/año
Vapor de agua	136.195	t/año
DOWTHERM-A	5.042	t/año
Catalizador	881,54	kg/año

10 PLANIFICACIÓN

La planificación del proyecto es necesaria para poder finalizar el proyecto en el plazo de tiempo estimado, en consonancia con los recursos disponibles ya que proporciona una visión de la evolución del proyecto con el tiempo.

Para llevar a cabo la planificación del proyecto se deben tener en cuenta las tareas a realizar, la duración de las mismas y la relación de dependencia entre estas.

Las tareas en las que se divide el proyecto y sus plazos se recogen en la *tabla M. 16*.

Tabla M. 16 Tareas del proyecto

Actividad	Duración (días)	Inicio	Fin
Adecuación del terreno	20	02/09/19	27/09/19
Obra civil de los equipos	200	30/09/19	03/07/20
Equipamiento adicional	50	06/07/20	11/09/20
Conexión entre equipos	20	14/09/20	09/10/20
Instalación eléctrica y fontanería	20	12/10/20	06/11/20
Automatización de los equipos	20	09/11/20	04/12/20
Puesta en marcha y pruebas	30	07/12/20	15/01/21

En la *figura M. 30* se muestra el diagrama de Gant, que representa la realización de las tareas que comprenden el proyecto durante el tiempo marcado. El diagrama de Gant se ha realizado con el programa Microsoft Project 2016.

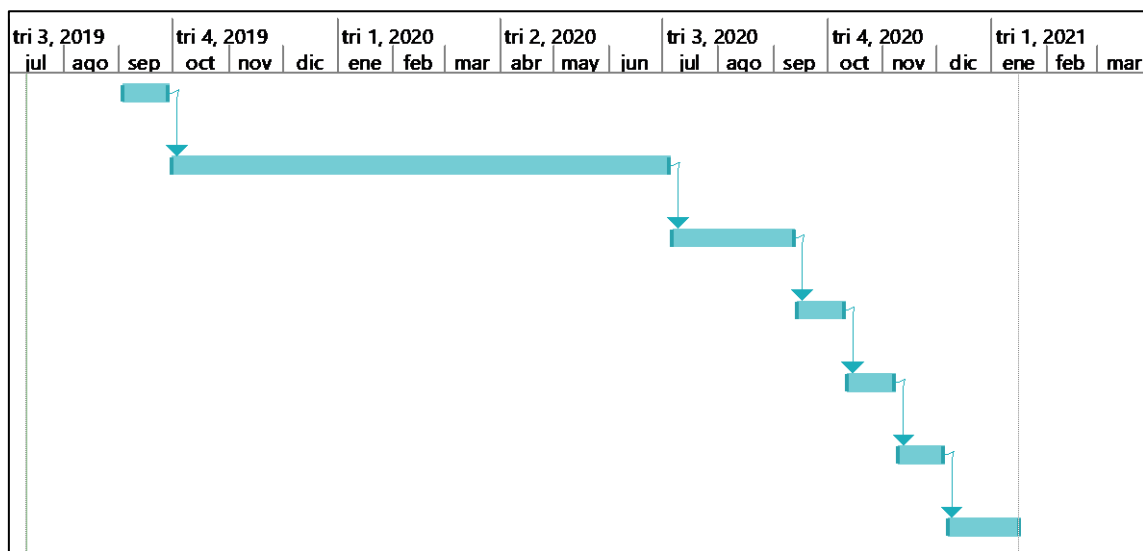


Figura M. 30 Diagrama de Gant

Es de vital importancia tomar en consideración que la planificación del proyecto se ha realizado de forma aproximada, teniendo en cuenta posibles retrasos derivados de las inclemencias meteorológicas, retrasos en los envíos, etc.

A la vista de la planificación realizada, la duración estimada del proyecto es de 360 días con una jornada laboral de 8 horas, 5 días a la semana y con los correspondientes días festivos. De este modo, el proyecto se iniciaría el 2 de septiembre de 2019 y finalizaría el 15 de enero de 2021.

11 ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

De acuerdo con lo establecido en la norma UNE 157001 2014, el orden de prioridad entre los documentos que constituyen un proyecto técnico es el siguiente:

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

12 ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

En el estudio de viabilidad económica se recoge de forma sistematizada toda la información del proyecto en relación a aspectos monetarios, con la finalidad de determinar la aceptación o el rechazo del proyecto.

En el estudio de viabilidad económica se pretende determinar:

- Los recursos necesarios para la realización del proyecto.
- El coste operativo total de la instalación.
- Indicadores económicos que se emplearán para determinar la viabilidad del proyecto.

12.1 Resumen del Presupuesto

En este apartado se resumen las partes principales del presupuesto, que se muestra detallado en el documento *Presupuesto*.

El Presupuesto de Ejecución de Material (PEM) consta de 5 partes, denominadas partidas presupuestarias. En la *tabla M. 17* se recogen las distintas partidas, así como el PEM total.

Tabla M. 17 PEM

Partida	Coste (€)
Partida 1: Equipos	1.400.000,00
Partida 2: Conducciones	2.129,76
Partida 3: Accesorios	1.339,00
Partida 4: Obra civil	58.750,00
Partida 5: Mano de obra	210.000,00
TOTAL	1.672.218,76

Para determinar el Presupuesto de Ejecución por Contrata, se debe tener en cuenta el PEM, a partir de este, se determinan los Gastos Generales (20% del PEM) y el Beneficio Industrial (6% del PEM).

En los Gastos Generales se incluyen todos aquellos gastos derivados de licencias y seguridad y salud. En la *tabla M. 18* se recoge el PEC.

Tabla M. 18 PEC

Elemento	Coste (€)
Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)	1.672.218,76
Gastos Generales	334.443,75
Beneficio Industrial	100.333,13
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	2.106.995,64

Una vez obtenido el Presupuesto de Ejecución por Contrata, el Presupuesto total se determina sumando el valor del IVA (21%) al PEC.

El valor del Presupuesto total es el equivalente a la inversión inicial necesaria para llevar a cabo el proyecto.

El presupuesto total del proyecto *Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol: Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empaquetado* asciende a **DOS MILLONES QUINIENTOS CUARENTA Y NUEVE MIL CUATROCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON SETENTA Y TRES CÉNTIMOS.**

12.2 Presupuesto de Explotación

El Presupuesto de Explotación detalla los gastos totales anuales de la instalación. Se divide en gastos directos e indirectos.

Se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo, de modo que se emplea la *ecuación M.5* para determinar el valor característico para cada año de explotación. Además, se deben definir una serie de parámetros:

- IPC: Índice de Precios al Consumo = 2,5%
- i_n : Interés nominal = 4%
- i_r : Interés real = $i_n/IPC = 1,6\%$

$$\text{Característica} = \text{Característica}_{\text{año } 0} \cdot (1 + IPC)^{\text{año}-1} \quad (\text{M.5})$$

12.2.1 Gastos directos

El término gastos directos o variables, hace referencia a aquellos gastos que están relacionados con el volumen de producción. En el caso de la instalación a diseñar, los gastos directos serían el etanol, la cromita de cobre, el vapor de agua y el DOWTHERM-A. Además de estos, se añade también el consumo eléctrico de los equipos (*tabla M. 21*).

Tabla M. 19 Gastos directos

Equipo	Potencia (kW)	Potencia (kWh/año)
Intercambiador de calor de coraza y haz de tubos	599,11	5.032.525,69
Reactor de lecho empaquetado	37,27	313.060,68
Compresor de etanol frío	56,66	475.929,40
Compresor de etanol caliente	860,32	7.226.646,74
Compresor de vapor de agua	149,82	1.258.512,39
TOTAL	1.703,18	14.306.674,90

En la *tabla M. 19* se recogen los gastos directos de la instalación. Los consumos de la instalación ya se han determinado en el *apartado 9.7 Consumos de la instalación*, y se han mostrado en la *tabla M. 15*.

El precio de la electricidad se ha determinado a partir de la cuota para instalaciones industriales, distinguiendo la cuota diurna de la nocturna, teniendo en cuenta que cada cuota ocupa 12 horas diarias (ver *tabla M. 20*).

Tabla M. 20 Coste de la electricidad

	Precio (€/kWh)
Cuota diurna	0,06
Cuota nocturna	0,04

En la *tabla M. 21* se muestra el consumo eléctrico de los distintos equipos de la instalación.

Tabla M. 21 Consumo eléctrico de los equipos

Equipo	Potencia (kW)	Potencia (kWh/año)
Intercambiador de calor de coraza y haz de tubos	599,11	5.032.525,69
Reactor de lecho empaquetado	37,27	313.060,68
Compresor de etanol frío	56,66	475.929,40
Compresor de etanol caliente	860,32	7.226.646,74
Compresor de vapor de agua	149,82	1.258.512,39
TOTAL	1.703,18	14.306.674,90

El precio de la cromita de cobre viene determinado por la empresa Sigma-Aldrich, mientras que el DOWTHERM-A viene suministrado por la empresa DOW. El coste del etanol se ha determinado mediante un compendio de los suministradores más próximos. El vapor de agua empleado proviene de la propia planta y no reporta un coste.

Los gastos directos para el primer año de operación se recogen en la *tabla M. 22*.

Tabla M. 22 Gastos directos totales

Gastos directos	Consumo	Precio	Gasto (€/año)
Etanol	22.337 t/año	550 (€/t)	12.285.339,58
Vapor de agua	136.195 t/año	0 (€/t)	0
DOWTHERM-A	5.042 t/año	1.424 (€/t)	7.180.492,26
Catalizador	881,54 kg/año	72 (€/kg)	63.470,74
Electricidad	14.306.674,90 kWh/año	0,06 – 0,04 (€/kWh)	715.333,74
GASTOS DIRECTOS TOTALES			20.244.636,08

Una vez determinados los gastos directos totales, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación de los gastos directos totales con el tiempo se emplea la *ecuación M.5*.

12.2.2 Amortizaciones

La amortización se define como la pérdida de valor que tiene un bien físico con el tiempo, pero es complicado cuantificarlo, la administración es la que regula las pérdidas de valor de la maquinaria, es una cantidad que se va restando del valor vigente según la legislación. Debido a la pérdida de valor, se va reservando la parte equivalente a las pérdidas de valor de un equipo anualmente para que en el caso de tener que cambiarla porque se haya amortizado, se pueda comprar un equipo que valga por lo menos lo que costó la otra inicialmente [13].

La amortización se puede determinar como el cociente de la inversión inicial y el número de años que se requieren para amortizar, para el caso, se ha fijado un tiempo de amortización para todos los equipos de 15 años.

Así pues, la amortización para el primer año será:

$$\text{Amortización} = \frac{I_0}{\text{tiempo de amortización}} \quad (\text{M.6})$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Amortización} = \frac{2.549.464,73}{15} = 169.964,32 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Una vez determinada la amortización, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación de la amortización con el tiempo se emplea la *ecuación M.5*.

12.2.3 Gastos indirectos

Los gastos indirectos o fijos hacen referencia a todos aquellos gastos que no están relacionados con el volumen de producción, como pueden ser los operarios.

El gasto previsto en cuanto a personal se muestra en la *tabla M. 23*. Se prevé que serán necesarios 1 jefe de planta y 3 operarios por turno, teniendo en cuenta que la planta trabaja en continuo 350 días al año, las 24 horas del día, se fijan 3 turnos de 8 horas. En total serán necesarios 3 jefes de planta y 9 operarios.

Tabla M. 23 Personal

Personal	Unidades	Salario (€/año)	Total (€/año)
Jefe de planta	3	36.000	108.000
Operario	9	21.600	194.400
TOTAL	12	-	302.400

Además de los gastos de personal se deben incluir los gastos de iluminación (*tabla M. 24*), como únicamente se requiere iluminación en el periodo nocturno, el coste del kWh nocturno es de 0,04 €/kWh, como se establece en la *tabla M. 20*, y los gastos en material de oficina, limpieza y otros gastos ajenos a los anteriores, no relacionados con el volumen de producción, estos gastos se recogen en la *tabla M. 25*.

Tabla M. 24 Iluminación de la planta

Equipo	Potencia (kW)	Consumo (kWh/año)	Coste (€/año)
Iluminación 36 W	1,08	4.536	181,44

En la tabla que se muestra a continuación, se recogen todos los gastos indirectos ajenos al personal.

Tabla M. 25 Gastos indirectos totales

Gasto indirecto	Coste (€/año)
Material de oficina	1.500
Limpieza	11.000
Otros	2.500
Iluminación	181,44
TOTAL	15.181,44

La suma del gasto en personal y el resto de gastos no relacionados con la producción son los gastos indirectos totales, que ascienden a 317.581,44 €/año.

Una vez determinados los gastos indirectos totales, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación de los gastos indirectos totales con el tiempo se emplea la *ecuación M.5*.

12.2.4 Gastos totales

El presupuesto de explotación anual es la suma de gastos directos e indirectos, de modo que los gastos anuales previstos ascienden 20.562.217,52 €. En la *tabla M. 26* se recoge el valor de cada uno de los gastos que componen los gastos totales.

Tabla M. 26 Gastos totales

Gasto	Coste (€/año)
Gastos directos	20.244.636,08
Gastos indirectos	317.581,44
TOTAL	20.562.217,52

12.3 Beneficios

El principal objetivo de una empresa es obtener beneficios, estos son una parte importante del estudio de la viabilidad económica de un proyecto, pero se deben distinguir 2 tipos de beneficio:

- **Beneficio bruto:** Se define el beneficio bruto como la diferencia entre los ingresos reales de la empresa y la suma de los gastos totales que esta genera, obviando los impuestos y la amortización.

- Beneficio neto: Se define como el beneficio bruto una vez aplicado el impuesto de sociedades del 25%.

Para poder determinar los beneficios de la empresa, es necesario calcular los ingresos, estos vienen derivados de la venta del principal producto de la etapa de reacción, que es el acetaldehído.

El caudal de acetaldehído que se genera es de 21.359,59 t/año, con un precio de venta de 1.000 €/t, arrojando unos ingresos anuales de 21.359.589,04 €.

Una vez determinados los ingresos y los gastos totales, se pueden determinar el beneficio bruto y el beneficio neto.

- Beneficio bruto

Como se ha mencionado en el párrafo anterior, para el cálculo del beneficio bruto se aplica el índice de precios al consumo (IPC), que se fija en el 2,5%. EL beneficio bruto se obtiene por tanto restando los gastos totales a los ingresos.

$$\text{Beneficio bruto} = 21.359.589,04 - 20.562.217,52 = 309.826,77 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

- Beneficio neto

Para el cálculo del del beneficio neto, se resta al beneficio bruto un 25% por el impuesto de sociedades.

$$\text{Beneficio neto} = 309.826,77 - 0,25 \cdot 309826,77 = 232.369,33 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Una vez determinados los beneficios tanto brutos como netos, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación de beneficios con el tiempo se emplea la *ecuación M.5*.

12.4 Flujo de caja

EL flujo de caja (FC) representa los flujos económicos de entrada y salida anuales en una empresa. El flujo de caja se determina mediante la *ecuación M.7*.

$$FC = \text{Beneficio neto} + \text{Amortización} \quad (\text{M.7})$$

$$FC = 232.369,33 + 169.964,32 = 402.333,65 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Una vez determinado el flujo de caja, se debe tener en cuenta que el valor del dinero varía con el tiempo. Para determinar la variación del flujo de caja con el tiempo se emplea la *ecuación M.5*.

12.5 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador de la rentabilidad del proyecto. Se pueden tener tres situaciones:

- VAN < 0: Indica que el proyecto no es rentable para el periodo de tiempo establecido.
- VAN = 0: Indica que el proyecto no genera ganancias, pero tampoco pérdidas.
- VAN > 0: Indica que el proyecto es rentable, las ganancias son mayores que los costes.

Para el cálculo del VAN se emplea la *ecuación M.8*:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=15} \frac{FC}{(1 + i_r)^n} \quad (\text{M.8})$$

El VAN para un horizonte temporal de 15 años es de 3.773.347 €, es mayor que 0, de modo que el proyecto es ampliamente rentable.

12.6 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. El TIR se calcula haciendo 0 el VAN. Interesa realizar aquellos proyectos cuyo TIR sea superior al interés nominal, y además cuanto mayor sea el TIR más viable es el proyecto.

El TIR se determina mediante la *ecuación M.9*:

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=15} \frac{FC}{(1 + i_r)^n} \quad (\text{M.9})$$

En la *tabla M. 27* se muestran los distintos valores del VAN en función del interés real.

Tabla M. 27 Variación del interés real

i_r (‰)	i_r (%)	VAN (€)
0,016	1,6	3.773.346,68
0,020	2,0	3.574.606,21
0,030	3,0	3.114.790,94
0,040	4,0	2.702.637,23
0,050	5,0	2.332.352,21
0,060	6,0	1.998.926,04
0,070	7,0	1.698.017,08
0,080	8,0	1.425.855,13
0,100	10,0	955.070,16
0,120	12,0	565.027
0,140	14,0	239.227,03
0,150	15,0	96.320,39
0,156	15,6	16.186,25
0,157	15,7	3.215,49
0,158	15,8	-9.648,35
0,160	16,0	-35.059,76

Las *figuras M. 31 y 32* representan la variación del VAN con el interés real.

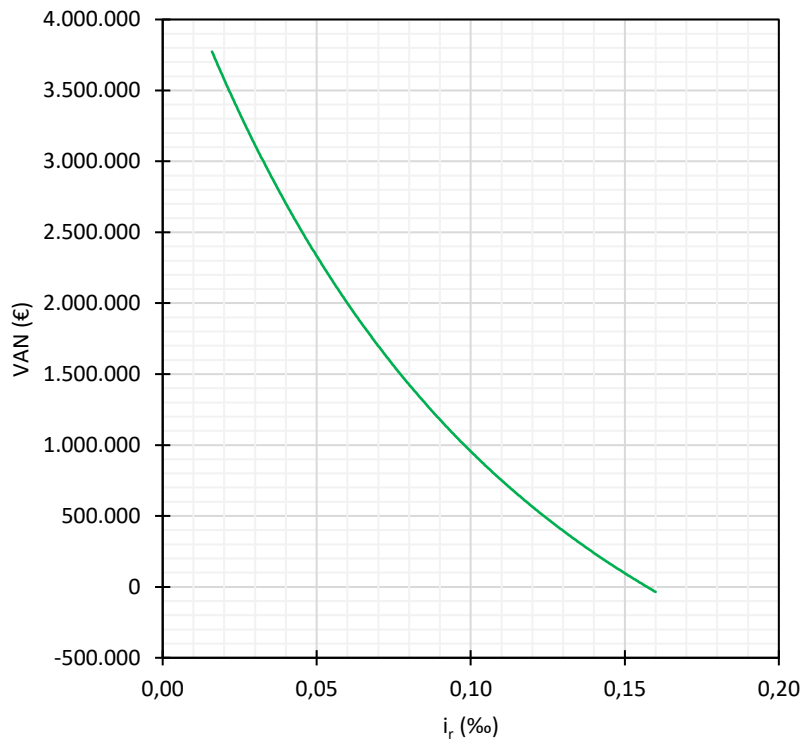


Figura M. 31 Variación del VAN con el interés real

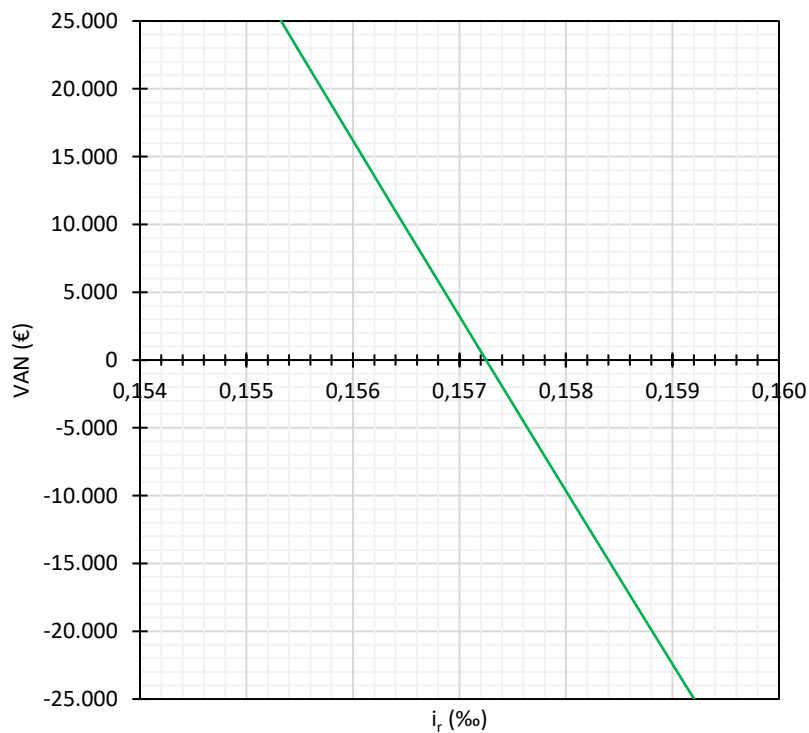


Figura M. 32 Variación del VAN con el interés real para determinar el TIR

A la vista de la *figura M. 32*, se determina un valor del TIR del 15,72%, muy superior al 4%, lo que es indicativo de la rentabilidad del proyecto.

12.7 Periodo de Retorno (PR)

El periodo de retorno se define como el tiempo aproximado que se tarda en recuperar la inversión inicial del proyecto. Se obtiene del cociente de la inversión inicial y el flujo de caja medio, empleando la *ecuación M.10*:

$$PR = \frac{I_0}{FC_{medio}} \quad (M.10)$$

$$PR = \frac{2.549.464,73}{480.974,49} = 5,3 \text{ años}$$

12.8 Conclusión

Tras la realización del estudio de viabilidad económica, una vez determinados los tres indicadores económicos (VAN, TIR, PR), que se muestran en la *tabla M. 28*, se puede concluir que el proyecto es ampliamente viable, en base al valor del VAN, que es ampliamente mayor que 0. El TIR obtenido es superior al interés nominal y el periodo de retorno es reducido teniendo en cuenta la inversión inicial llevada a cabo.

Tabla M. 28 Resumen de índices económicos

VAN (€)	TIR (%)	PR (AÑOS)
3.773.347	15,72	5,3

La *tabla M. 29* muestra la variación de cada una de las características hasta el horizonte temporal de 15 años.

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empacado

Tabla M. 29 Viabilidad económica

	Gastos Directos	Gastos Indirectos	Amortización	Ingresos	Beneficio Bruto	Beneficio Neto	Flujo de caja	FC/(1+i) ⁿ
1	20.562.218	317.581	169.964	21.359.589	309.826	232.369	402.334	395.998
2	21.076.273	325.521	174.213	21.893.579	317.571	238.179	412.392	399.506
3	21.603.180	333.659	178.569	22.440.918	325.511	244.133	422.702	403.044
4	22.143.259	342.000	183.033	23.001.941	333.648	250.236	433.269	406.615
5	22.696.841	350.550	187.609	23.576.990	341.990	256.492	444.101	410.217
6	23.264.262	359.314	192.299	24.166.414	350.539	262.905	455.204	413.850
7	23.845.868	368.297	197.106	24.770.575	359.303	269.477	466.584	417.516
8	24.442.015	377.505	202.034	25.389.839	368.285	276.214	478.248	421.215
9	25.053.065	386.942	207.085	26.024.585	377.493	283.119	490.204	424.946
10	25.679.392	396.616	212.262	26.675.200	386.930	290.197	502.460	428.710
11	26.321.377	406.531	217.569	27.342.080	396.603	297.452	515.021	432.508
12	26.979.411	416.694	223.008	28.025.632	406.518	304.889	527.897	436.339
13	27.653.897	427.112	228.583	28.726.273	416.681	312.511	541.094	440.205
14	28.345.244	437.790	234.298	29.444.429	427.098	320.324	554.621	444.104
15	29.053.875	448.734	240.155	30.180.540	437.776	328.332	568.487	448.038

3. ANEJOS

ÍNDICE

1	ANEJO 1. DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA	3
2	ANEJO 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA.....	4
3	ANEJO 3. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	5
3.1	ESPECIFICACIONES/DEFINIR NECESIDADES/BALANCE DE ENERGÍA.....	7
3.2	PROPIEDADES FÍSICAS DE FLUIDOS Y ALEACIONES	8
3.3	ASUMIR UN VALOR DE U_o	9
3.4	DEFINIR EL TIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	10
3.5	DETERMINAR EL ÁREA PROVISIONAL, $Q=U_o \cdot A_o \cdot (\Delta T)_{ML} \cdot Y$	10
3.6	DEFINIR ASPECTOS GEOMÉTRICOS DE LOS TUBOS	12
3.7	CALCULAR EL NÚMERO DE TUBOS, N_T	15
3.8	CALCULAR EL DIÁMETRO DE LA CORAZA	16
3.9	CALCULAR H PARA LOS TUBOS	18
3.10	DEFINIR ESPACIADO DE DEFLECTORES Y H^A	20
3.11	CALCULAR U_o CON FACTORES DE ENSUCIAMIENTO	26
3.12	CALCULAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA DE LA CORAZA Y HAZ DE TUBOS	28
3.12.1	<i>Pérdida de carga en el haz de tubos</i>	<i>28</i>
3.12.2	<i>Pérdida de carga en la coraza.....</i>	<i>30</i>
4	ANEJO 4. DISEÑO DEL REACTOR.....	33
4.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS DE CATALIZADOR Y EL LECHO	33
4.2	DISEÑO	33
4.3	BALANCE DE MATERIA	43
4.4	BALANCE DE ENERGÍA	45
4.5	PÉRDIDA DE CARGA	53
4.6	RESOLUCIÓN	56
4.6.1	<i>La ecuación de estado Peng-Robinson.....</i>	<i>57</i>
4.7	AJUSTE DE UNIDADES	65
4.8	RESOLUCIÓN MATCHAD 4.0 PRIME.....	68
4.9	PERFILES.....	68
4.10	GEOMETRÍA DEL REACTOR.....	71
4.11	CORRIENTES DE SALIDA.....	72
5	ANEJO 5. NECESIDADES DE CATALIZADOR.....	73
5.1	PUESTA EN MARCHA	73
6	ANEJO 6. NECESIDADES DE DOWTHERM-A.....	76
7	ANEJO 7. DEPÓSITO DE ACETALDEHÍDO	80
8	ANEJO 8. CONDUCCIONES	81
8.1	TRAMO 3	89
8.2	TRAMO 9	90
8.3	TRAMO 13	92
8.4	TRAMO 6	94
8.5	TRAMO 11	95
8.6	TRAMO 19	97
9	ANEJO 9. IMPULSIÓN DE FLUIDOS	101

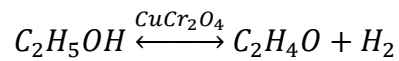
9.1	COMPRESOR 2	103
9.2	COMPRESOR 5	104
9.3	COMPRESOR 8	106
10	ANEJO 10. ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA	108
10.1	LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES	108
10.2	IMPACTO AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA	112
11	ANEJO 11. CATÁLOGOS	116
11.1	CONDUCCIÓN DE VAPOR DE AGUA	116
11.2	CONDUCCIONES GENERALES	117
11.3	CODOS	119
11.4	EMPALME (T)	120
11.5	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACETALDEHÍDO	121
11.6	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y HAZ DE TUBOS Y REACTOR CATALÍTICO DE LECHO EMPAQUETADO	122
11.7	COMPRESOR DE ETANOL	123
11.8	COMPRESOR DE VAPOR DE AGUA	124
12	ANEJO 12. HOJAS DE SEGURIDAD	125
12.1	ETANOL	125
12.2	ACETALDEHÍDO	127
12.3	HIDRÓGENO	129
12.4	VAPOR DE AGUA	131
12.5	DOWTHERM-A	142
12.6	CROMITA DE COBRE	151

1 ANEJO 1. DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA

Para el diseño del reactor se han fijado previamente una serie de condiciones de entrada de acuerdo con lo recopilado en la literatura. Estas condiciones de entrada se recogen en la *tabla A1. 1*.

Tabla A1. 1. Condiciones de entrada al reactor

Característica	Valor	Uds.
F _{etanol,0}	36	mol/s
T _{etanol disponible}	363,15	K
T ₀	558,15	K



La reacción que se va a llevar a cabo es endotérmica, y tiene lugar en un reactor catalítico de lecho fijo, con un empaquetamiento del 50% y empleando partículas de catalizador (cromita de cobre) esféricas, con un diámetro reducido para evitar el efecto radial y poder considerar flujo de pistón, pero lo suficientemente grandes como para no generar una excesiva pérdida de carga.

2 ANEJO 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA

La *figura A2. 1* muestra el diagrama de flujo principal de la planta.

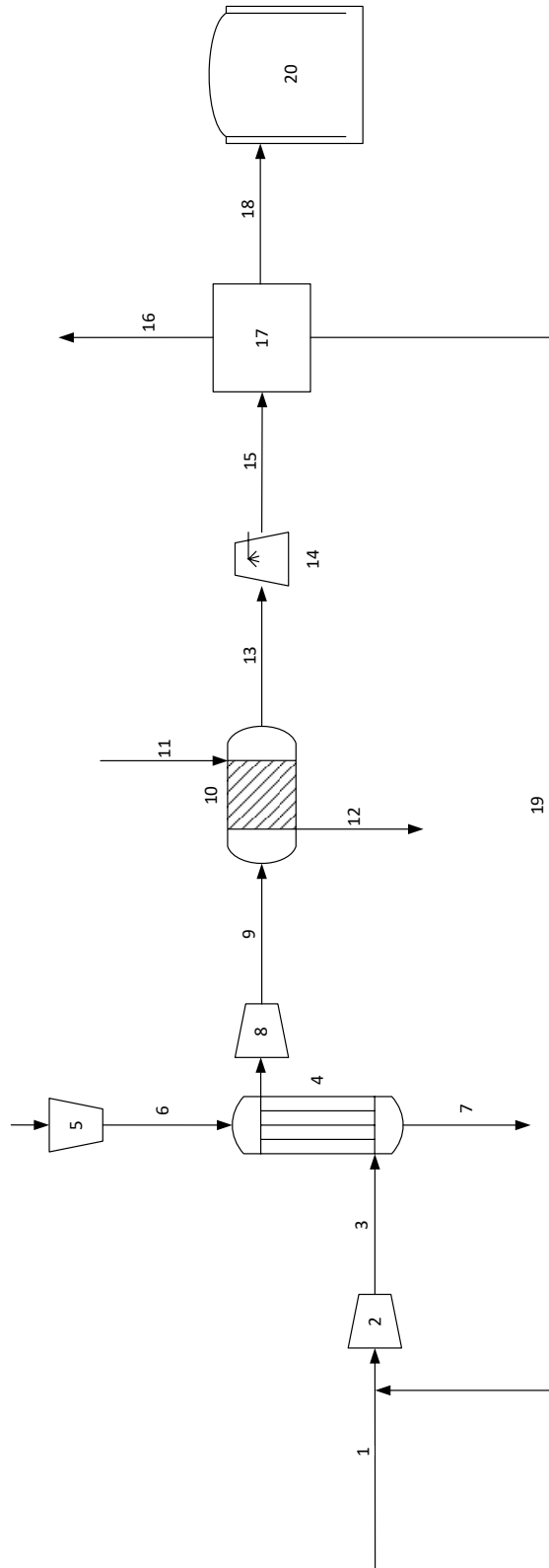


Figura A2. 1 Diagrama de flujo

3 ANEJO 3. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

El diseño térmico de los intercambiadores de calor tiene la finalidad de calcular un área de intercambio de calor para las especificaciones dadas, mientras que el análisis hidráulico determina la pérdida de carga de los fluidos que circulan por la coraza y por los tubos.

Los primeros intentos para proporcionar una metodología de cálculo de las pérdidas de carga y coeficiente global de transmisión de calor en intercambiadores de calor de coraza y haz de tubos se basaban en datos experimentales de intercambiadores de calor muy comunes. Uno de estos métodos fue el método de Kern, este método pretende relacionar los datos de intercambiadores de calor más sencillos mediante una ecuación sencilla para el flujo de fluido por los tubos. Sin embargo, este método originalmente era válido únicamente para un espaciado de deflectores del 25%, actualmente el rango se ha ampliado. El método de Kern a pesar de no ser el más preciso, permite un cálculo rápido de los coeficientes individuales de transmisión de calor de la coraza y el haz de tubos y la pérdida de carga que experimentará el sistema.

Para calentar el etanol hasta la temperatura de entrada se precisa de un intercambiador de calor de coraza y haz de tubos. A continuación, se muestran los cálculos llevados a cabo para definir las especificaciones del equipo. Para el diseño se ha empleado el método de Kern [20], siguiendo el diagrama de flujo que se muestra en la *figura A3. 1*.

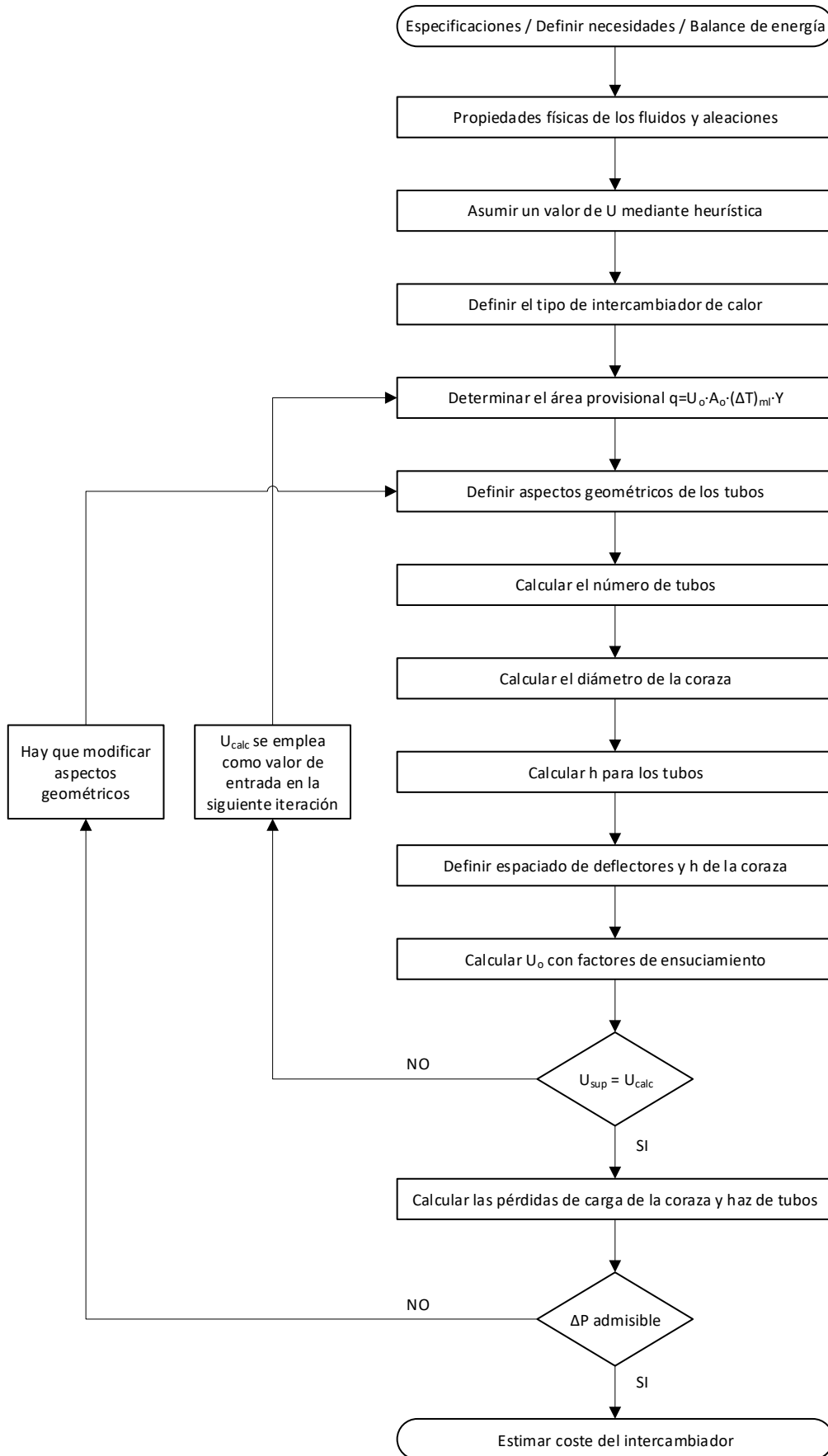


Figura A3. 1 Método de Kern

El método de Kern es un proceso iterativo que parte de unos valores iniciales de U_o (tabla A3. 3), a medida que avanza el proceso iterativo el valor de U_o supuesto y el calculado, convergen. En los siguientes apartados únicamente se detallan los cálculos llevados a cabo a partir del valor de U_o definitivo obtenido mediante el método de Kern.

3.1 Especificaciones/Definir necesidades/Balance de energía

Se quiere calentar el etanol en fase gas desde los 90°C hasta los 285°C, para ello se emplea vapor de agua a 350°C suministrado por la propia planta de UBE.

El intercambiador empleado es un intercambiador de coraza y haz de tubos donde el etanol circula por la coraza y el vapor de agua circula por los tubos, circulan en contracorriente, por ello, en la tabla A3. 1, se refiere la temperatura de entrada y salida a las respectivas de cada uno de los fluidos y no a los puntos de inicio y fin del intercambiador.

A lo largo del diseño del intercambiador de calor, se referirá el etanol al subíndice a y el vapor de agua al subíndice b .

Definidas las especificaciones y las necesidades, se resuelve el balance de energía, que se rige por la siguiente ecuación:

$$q = m^a \cdot c_p^a \cdot (T_{salida}^a - T_{entrada}^a) = m^b \cdot c_p^b \cdot (T_{entrada}^b - T_{salida}^b) \quad (A.1)$$

A partir de los datos de la siguiente tabla, y sustituyéndolos en la ecuación anterior, se obtiene el flujo de calor ($J/s \equiv W$).

Tabla A3. 1 Condiciones generales del intercambiador de calor

Propiedad	Etanol	Vapor de agua	Uds.
T entrada	363,15	623,15	K
T salida	558,15	554,65	K
F	35,991	250	mol/s
m	1,6580	4,5038	kg/s

$$q = 1,658 \cdot 1853,01 \cdot (558,15 - 363,15) = 599.110,2 W$$

La siguiente figura representa el perfil de temperaturas en el intercambiador de calor.

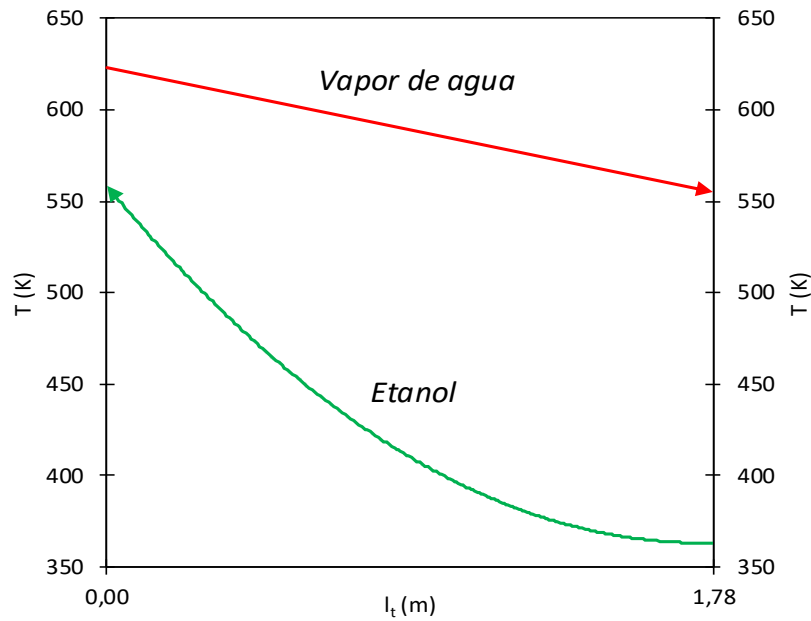


Figura A3. 2 Perfil de temperaturas en el intercambiador de calor

3.2 Propiedades físicas de fluidos y aleaciones

En la siguiente tabla se muestran las principales propiedades de los fluidos presentes en el intercambiador.

Tabla A3. 2 Propiedades de los fluidos

Propiedad	Etanol (coraza)	Vapor de agua (tubos)	Uds.
ρ	1,277	0,374	kg/m ³
c_p	1853,01	1941,93	J/(kg·K)
PM	0,046	0,018	kg/mol
μ	1,25E-05	1,69E-05	kg/(m·s)
k	0,029	0,035	J/(m·s·K)
$k_{\text{Acero estándar}}$	52		J/(m·s·K)

La densidad de sendos fluidos se ha estimado a partir de una reordenación de los términos de la ley de los gases ideales.

$$\rho = \frac{P \cdot PM \cdot 1000}{R \cdot T} \quad (\text{A.2})$$

El resto de propiedades (calor específico, viscosidad y conductividad térmica) se han estimado a partir del modelo de Peng-Robinson, expuesto con anterioridad.

El valor de cada una de las propiedades se ha determinado como un valor medio entre los valores obtenidos para las temperaturas de entrada y de salida.

La conductividad del acero se ha determinado a partir de valores bibliográficos.

3.3 Asumir un valor de U_0

Se debe hacer hincapié en que el método de Kern es un método iterativo en el que se parte de un valor de U_0 supuesto y se compara el resultado del proceso con el valor supuesto hasta que coinciden. Por ello, no se muestran más que los cálculos de la última iteración, que son los valederos. Coulson y Richardson's, en su libro *Chemical Engineering Design* proponen valores de partida de U_0 en función del Sistema que se maneja [15].

En la siguiente tabla se muestran los valores propuestos para los intercambiadores de calor donde se pretende calentar un fluido.

Tabla A3. 3 Valores de U_0 de partida

Fluido caliente	Fluido frío	U_0 (W/m ² ·K)
Vapor de agua	Agua	1500 – 4000
Vapor de agua	Solventes orgánicos	500 – 1000
Vapor de agua	Aceites ligeros	300 – 900
Vapor de agua	Aceites pesados	60 – 450
Vapor de agua	Gases	30 – 300
Dowtherm	Aceites pesados	50 – 300
Dowtherm	Gases	20 – 200
Gases de combustión	Vapor de agua	30 – 100
Humos	Vapores de hidrocarburos	30 – 100

Para el intercambiador de calor que se está diseñando, los distintos fluidos son:

Fluido caliente: Vapor de agua *Fluido frío:* Etanol (Gas)

De acuerdo con esto y recurriendo a la *tabla A3. 3*, el valor del coeficiente global óptimo para iniciar el proceso iterativo se encuentra entre los 30 y los 300 W/m²·K, por lo que se decide que el valor inicial de U_0 será 100 W/m²·K.

Para la iteración definitiva, el valor de U_0 es de 126,364 W/m²·K.

3.4 Definir el tipo de intercambiador de calor

A la hora de definir las especificaciones generales y específicas de diseño del intercambiador de calor, se recurre a las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.).

Las normas TEMA incluyen distintos tipos de corazas en función del número de pasos que realiza el fluido por los tubos o los puntos de alimentación. Las distintas configuraciones se muestran en la *figura M. 13*.

Se decide utilizar un intercambiador de calor de 1 paso por la coraza y 2 pasos por los tubos. Para la coraza se decide emplear la coraza tipo E con cabezal flotante sin dispositivo de apoyo.

3.5 Determinar el área provisional, $q=U_o \cdot A_o \cdot (\Delta T)_{ml} \cdot Y$

Para poder determinar el área de intercambio es necesario el cálculo del factor de corrección Y, y de la temperatura media logarítmica. El factor de corrección Y varía en función de las temperaturas de los fluidos presentes en el intercambiador de calor y del número de pasos por la coraza y los tubos. Para determinarlo se recurre a las siguientes relaciones adimensionales de temperaturas.

$$\alpha = \frac{\Delta T^a}{T_{entrada}^b - T_{entrada}^a} \quad (A.3)$$

$$Z = \frac{\Delta T^b}{\Delta T^a} \quad (A.4)$$

A partir de estos parámetros Kern dedujo una ecuación que permite obtener el valor del factor de corrección Y en función de α y Z.

$$Y = \frac{(\sqrt{Z^2 + 1}) \cdot \ln \left| \frac{1 - \alpha}{1 - Z \cdot \alpha} \right|}{(Z - 1) \cdot \ln \left| \frac{2 - \alpha \cdot (Z + 1 - \sqrt{Z^2 + 1})}{2 - \alpha \cdot (Z + 1 + \sqrt{Z^2 + 1})} \right|} \quad (A.5)$$

En lugar de la ecuación anterior, también se puede recurrir a la siguiente figura, válida para un intercambiador de calor de 1 paso por la coraza y 2 o más pasos por los tubos.

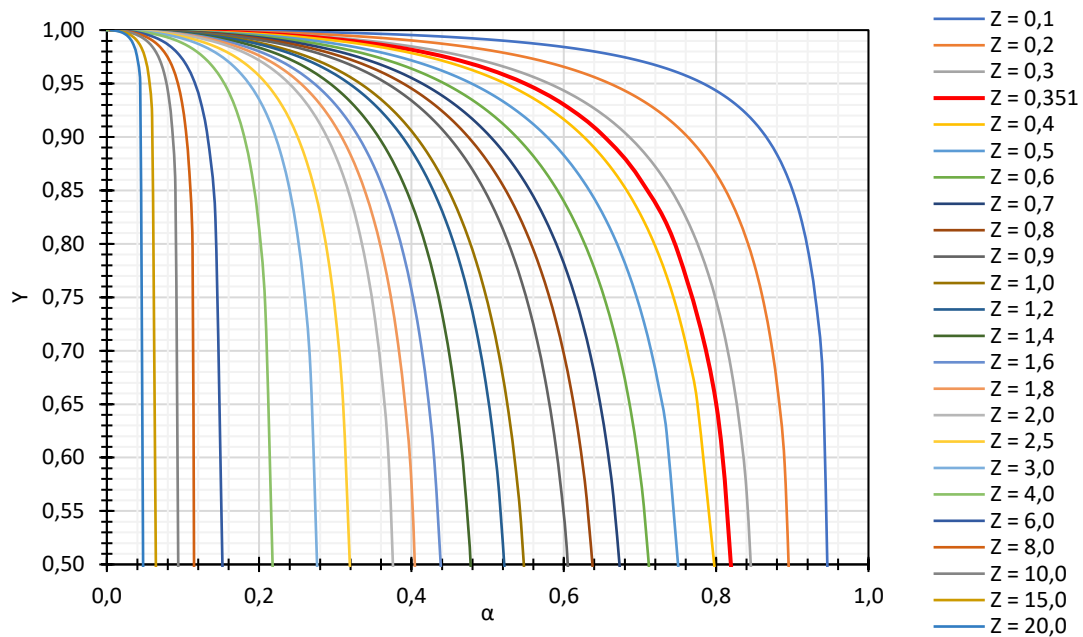


Figura A3. 3 Variación del factor de corrección Y

La temperatura media logarítmica $(\Delta T)_{ml}$, es una medida del incremento de temperatura media del conjunto de los fluidos y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left| \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right|} \equiv \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left| \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right|} \quad (A.6)$$

Los puntos 1 y 2 se refieren a los puntos inicial y final del intercambiador de calor respectivamente.

A partir de las ecuaciones anteriores se calculan las relaciones adimensionales de temperaturas, el factor de corrección Y, y la temperatura media logarítmica.

$$\alpha = \frac{558,15 - 363,15}{623,15 - 363,15} = 0,750$$

$$Z = \frac{623,15 - 554,65}{558,15 - 363,15} = 0,351$$

$$Y = \frac{(\sqrt{0,351^2 + 1}) \cdot \ln \left| \frac{1 - 0,750}{1 - 0,351 \cdot 0,750} \right|}{(0,351 - 1) \cdot \ln \left| \frac{2 - 0,750 \cdot (0,351 + 1 - \sqrt{0,351^2 + 1})}{2 - 0,750 \cdot (0,351 + 1 + \sqrt{0,351^2 + 1})} \right|} = 0,792$$

A partir de la *ecuación A.6* se calcula la temperatura media logarítmica.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(554,65 - 363,15) - (623,15 - 558,15)}{\ln \left| \frac{554,65 - 363,15}{623,15 - 558,15} \right|} = 117,08 \text{ K}$$

A partir de la *ecuación A.1* y del valor de Y, se calcula el área provisional.

$$q = U_o \cdot A_o \cdot \Delta T_{ml} \cdot Y \quad (\text{A.7})$$

Reordenando la expresión,

$$A_o = \frac{q}{U_o \cdot \Delta T_{ml} \cdot Y} \quad (\text{A.8})$$

$$A_o = \frac{599.110,20}{126,364 \cdot 117,08 \cdot 0,792} = 51,149 \text{ m}^2$$

3.6 Definir aspectos geométricos de los tubos

En las siguientes tablas (*tablas A3. 4 y 5*) se recogen los valores la longitud real de los tubos (L_{rt}), el diámetro externo de los tubos (D_{ot}), y el espesor de los mismos.

Tabla A3. 4 Longitud real de los tubos

L_{rt} (pies)	L_{rt} (m)
6	1,83
8	2,44
10	3,05
12	3,66
16	4,88
20	6,10
24	7,32

Tabla A3. 5 Diámetros y espesores de los tubos

e _t (mm)													D _{ot} (mm)	D _{ot} (in)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,35	1/4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,53	3/8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,70	1/2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,88	5/8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,05	3/4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,23	7/8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,39	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,75	1½
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38,09	1½
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,79	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63,5	2½

Las normas TEMA recomiendan emplear un espesor de la placa de tubos (e_{pt}) de 25 mm, con lo que la longitud real de los tubos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_t = L_{rt} - 2 \cdot e_{pt} \quad (A.9)$$

De la tabla A3. 4 se escoge una L_{rt} de 1,83 m. El diámetro interno de los tubos (D_{it}), se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$D_{it} = D_{ot} - 2 \cdot e_t \quad (A.10)$$

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones de los tubos seleccionadas para el diseño del intercambiador de calor.

Tabla A3. 6 Especificaciones de los tubos

D_{ot} (mm)	e_t (mm)	D_{it} (mm)	L_{rt} (m)	e_{pt} (mm)	L_t (m)
22,23	1,25	19,73	1,83	25	1,78

Los tubos se pueden colocar, con respecto a la dirección del flujo del fluido que circula por el exterior de los mismos en la zona de flujo cruzado, en disposición cuadrada, cuadrada girada o triangular, quedando así definida la posición relativa entre ellos.

En la siguiente figura se muestran las distintas disposiciones.

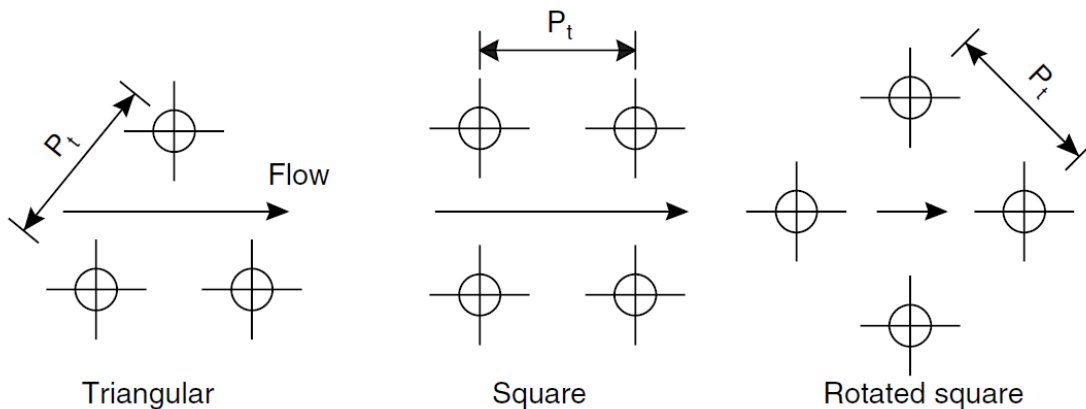


Figura A3. 4 Distintas disposiciones de los tubos

A continuación, se definen los 3 parámetros geométricos característicos necesarios para definir la disposición de los tubos en el intercambiador de calor.

p_t : Distancia entre los centros de los tubos adyacentes

p_p : Distancia entre los centros de los tubos en la dirección paralela al flujo

p_n : Distancia entre los centros de los tubos en la dirección normal al flujo

El valor de p_t viene fijado por las normas TEMA, mientras que los otros 2 parámetros se pueden obtener por relaciones geométricas. En la siguiente tabla se recogen las expresiones que relacionan p_p y p_n con p_t .

Tabla A3. 7 Distancias entre los tubos

Disposición	p_p	p_n
Cuadrada	p_t	p_t
Cuadrada girada	$p_t \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$	$p_t \cdot \sqrt{2}$
Triangular	$p_t \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	p_t

El valor de p_t recomendado se rige por la siguiente expresión:

$$p_t = 1,25 \cdot D_{ot} \quad (A.11)$$

A partir de las expresiones anteriores se obtienen los valores de los parámetros geométricos que se recogen en la siguiente tabla en función de las distintas configuraciones.

Tabla A3. 8 Parámetros geométricos

D_{ot} (in)	D_{ot} (mm)	p_t (mm)	Disposición	p_p (mm)	p_n (mm)
5/8	15,88	20,63	Triangular	17,88	20,63
3/4	19,05	23,83	Triangular	20,64	23,83
3/4	19,05	25,39	Cuadrada	25,39	25,39
3/4	19,05	25,39	Cuadrada girada	17,96	35,91
3/4	19,05	25,39	Triangular	22,00	25,39
7/8	22,23	27,78	Triangular	24,06	27,78
1	25,39	31,75	Cuadrada	31,75	31,75
1	25,39	31,75	Cuadrada girada	22,45	44,90
1	25,39	31,75	Triangular	27,50	31,75

Los valores de los parámetros geométricos de los tubos, así como la disposición de los mismos, se recogen en la siguiente tabla.

Tabla A3. 9 Parámetros seleccionados

Disposición	p_t (mm)	p_p (mm)	p_n (mm)
Triangular	27,78	24,06	27,78

3.7 Calcular el número de tubos, N_t

Para calcular el número de tubos, se precisa de la siguiente expresión:

$$A_o = \pi \cdot D_{ot} \cdot L_t \cdot N_t \quad (\text{A.12})$$

Reordenando la expresión,

$$N_t = \frac{A_o}{\pi \cdot D_{ot} \cdot L_t} \quad (\text{A.13})$$

A partir de los valores obtenidos para cada uno de los parámetros, se calcula el número de tubos del intercambiador de calor.

$$N_t = \frac{51,149}{\pi \cdot 0,022225 \cdot 1,78} = 411,83 \approx 412 \text{ tubos}$$

3.8 Calcular el diámetro de la coraza

Para poder calcular el diámetro de la coraza, es necesario determinar el diámetro del haz de tubos (D_h), que se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$D_h = D_{ot} \cdot \left(\frac{N_t}{K_1}\right)^{\frac{1}{n_1}} \quad (\text{A.14})$$

Los valores de los parámetros K_1 y n_1 se recogen en la siguiente tabla.

Tabla A3. 10 Valores de K_1 y n_1

Pasos por los tubos		1	2	4	6	8
Disposición triangular	K_1	0,319	0,249	0,175	0,0743	0,0365
	n_1	2,142	2,207	2,285	2,499	2,675

Para el intercambiador de calor que se está diseñando, con 2 pasos por los tubos, los valores de K_1 y n_1 son de 0,249 y 2,207 respectivamente. A partir del valor de estos parámetros se puede determinar el diámetro del haz de tubos.

$$D_h = 0,022225 \cdot \left(\frac{412}{0,249}\right)^{\frac{1}{2,207}} = 0,639 \text{ m}$$

A partir del diámetro del haz de tubos y empleando la siguiente figura, adaptada de *Chemical Engineering Design* de Coulson y Richardson's, se obtiene el diámetro interno de la coraza.

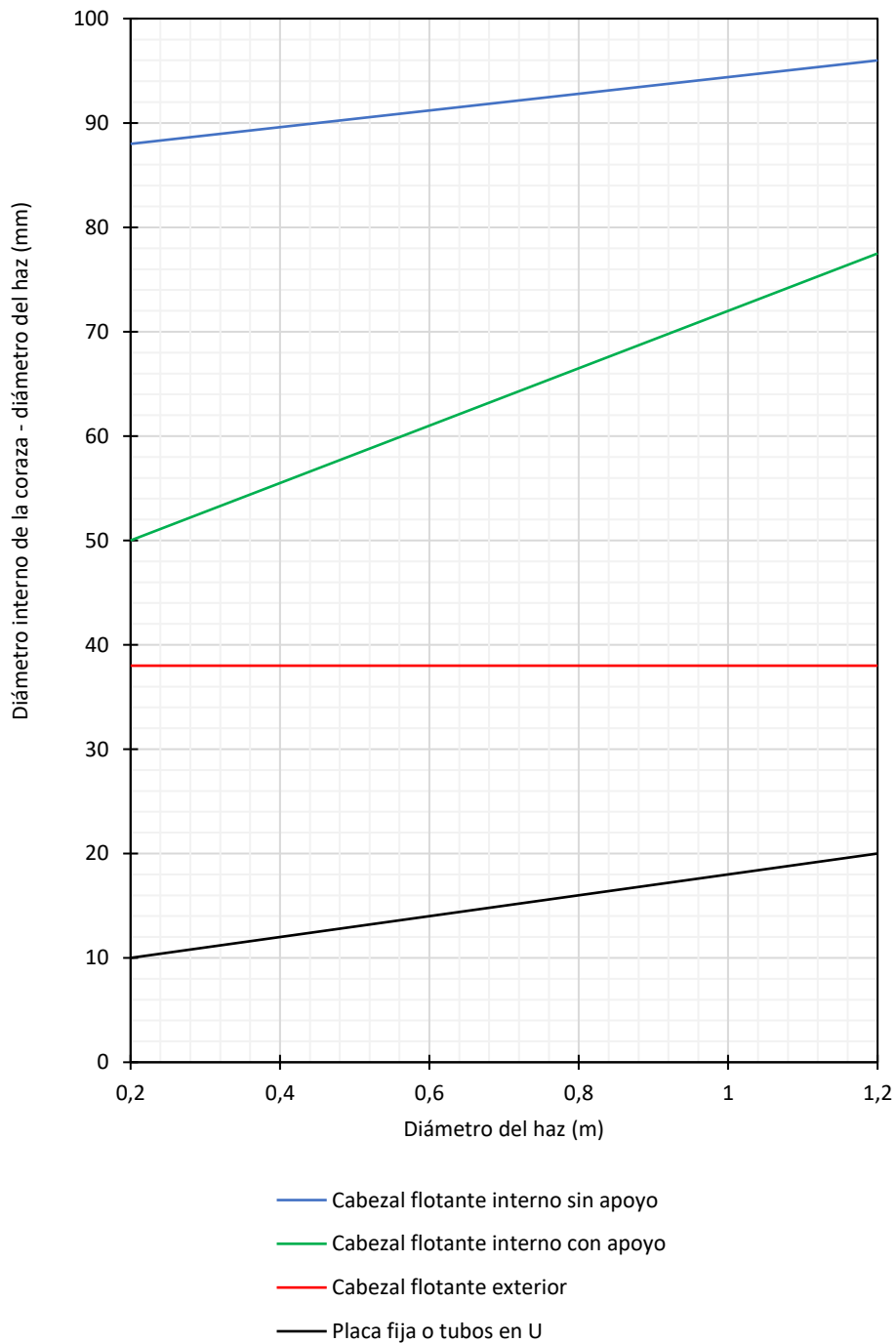


Figura A3. 5 Relación de diámetros

A partir del diámetro del haz y teniendo en cuenta que se emplea una coraza tipo E con cabezal flotante sin dispositivo de apoyo, se obtiene la diferencia entre el diámetro interno de la coraza y el diámetro del haz, esta diferencia equivale a 0,092 m. A partir del valor de la diferencia y conociendo el diámetro del haz, se obtiene el diámetro interno de la coraza.

$$D_{ic} = 0,730 \text{ m}$$

3.9 Calcular h para los tubos

Para calcular el coeficiente individual de transmisión de calor para los tubos, se precisa del cálculo de una serie de números adimensionales característicos como son, el número de Reynolds, el número de Prandtl y el número de Nusselt.

Para el cálculo del número de Reynolds se precisa del caudal másico del fluido que circula por cada uno de los tubos, en este caso, el vapor de agua. Se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$m_{tubo} = \frac{m}{\left(\frac{N^{\circ} \text{ de tubos}}{N^{\circ} \text{ de pasos por los tubos}} \right)} \quad (\text{A.15})$$

Dando:

$$m_{tubo} = \frac{4,504}{\left(\frac{412}{2} \right)} = 0,022 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{tubo}}$$

Una vez obtenido el caudal másico de vapor de agua que pasa por cada tubo, se calcula el número de Reynold mediante la siguiente expresión:

$$Re_t = \frac{m_{tubo}}{\frac{\pi}{4} \cdot \mu_b \cdot D_{it}} \quad (\text{A.16})$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$Re_t = \frac{0,022}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,69 \cdot 10^{-5} \cdot 0,020} = 83.347,45$$

El cálculo del número de Prandtl se realiza mediante la siguiente expresión:

$$Pr_t = \frac{c_p \cdot \mu_b}{k_b} \quad (\text{A.17})$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$Pr_t = \frac{1941,93 \cdot 1,69 \cdot 10^{-5}}{0,035} = 0,936$$

Para el cálculo del número de Nusselt existen distintas ecuaciones, la bibliografía recomienda que, para valores del número de Reynolds > 10.000 , valores del número de Prandtl $\in [0,7-100]$ y $1/D_{it} > 60$ se emplee la ecuación propuesta por *Dittus-Boelter*, que se define por la siguiente expresión:

$$Nu_t = 0,023 \cdot Re_t^{0,8} \cdot Pr_t^n \quad (A.18)$$

En la que $n = 0,4$ para fluidos que se calientan y $n = 0,3$ para el caso de fluidos que se enfrían, como el que nos ocupa, de modo que la ecuación queda:

$$Nu_t = 0,023 \cdot Re_t^{0,8} \cdot Pr_t^{0,3} \quad (A.19)$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene el valor del número de Nusselt.

$$Nu_t = 0,023 \cdot 83.347,45^{0,8} \cdot 0,936^{0,3} = 194,880$$

A partir de la definición del número de Nusselt se obtiene el valor del coeficiente individual de transmisión de calor para los tubos.

$$Nu_t = \frac{h^b \cdot D_{it}}{k_b} \quad (A.20)$$

Reordenando la expresión se llega a:

$$h^b = \frac{Nu_t \cdot k_b}{D_{it}} \quad (A.21)$$

Sustituyendo los valores se obtiene el valor del coeficiente individual de transmisión de calor para los tubos.

$$h^b = \frac{194,880 \cdot 0,035}{0,020} = 347,227 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.10 Definir espaciado de deflectores y h^a

Los deflectores se instalan en la coraza y se emplean para dirigir el fluido de forma perpendicular a los tubos, incrementar la velocidad del fluido y mejorar la velocidad de transmisión de calor.

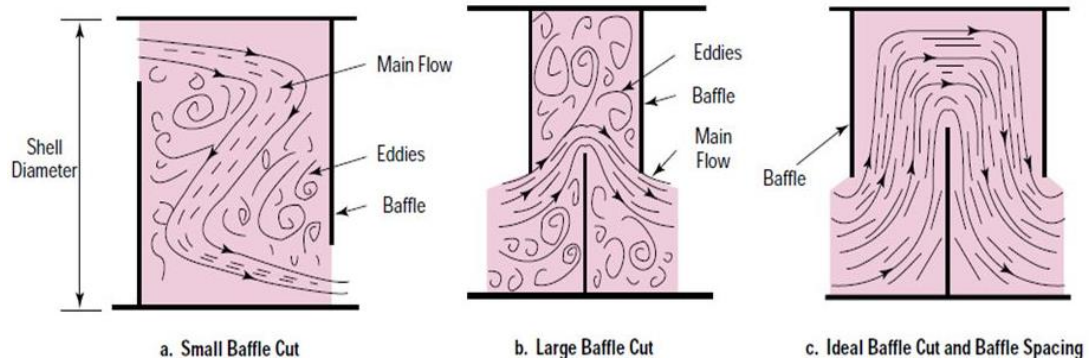


Figura A3. 6 Distintos deflectores

El deflector más habitual es el seccionado, vertical u horizontalmente, tal y como se muestra en la *figura A3. 6*.

Para el cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor en la coraza se precisa la definición de una serie de parámetros característicos como son:

- Distancia entre deflectores, l_d
- Corte del deflector, C_d
- Área máxima perpendicular al flujo de fluido en la zona de flujo cruzado, S_c
- Gasto másico referido a la posición ecuatorial de la coraza, G_c
- Velocidad referida a la posición ecuatorial de la coraza, v_c
- Diámetro equivalente de la coraza en la zona de flujo axial, D_e

La distancia entre deflectores (l_d) está comprendida entre 0,2 y 1 vez el diámetro interno de la coraza. La distancia óptima se encuentra generalmente entre 0,3 y 0,5 veces el diámetro interno de la coraza. Para el diseño se ha decidido emplear una distancia entre deflectores de 0,4 veces el diámetro interno de la coraza.

$$l_d = 0,4 \cdot D_{ic} \quad (A.22)$$

Sustituyendo el valor del diámetro interno de la coraza se obtiene la distancia entre deflectores.

$$l_d = 0,4 \cdot 0,730 = 0,292 \text{ m}$$

El término corte de deflector se emplea para definir las dimensiones del deflector seccionado, estos se expresan a modo de porcentaje, y van desde el 15 hasta el 45%, aunque generalmente el corte de deflector óptimo se encuentra entre el 20 y el 25%, en el caso de diseño, se toma $C_d = 0,25 \equiv 25\%$.

En la zona de flujo cruzado, el área de paso transversal a la corriente varía, siendo máxima en la posición ecuatorial de la coraza. La siguiente expresión permite el cálculo de esta área máxima.

$$S_c = (p_n - D_{ot}) \cdot \frac{D_{ic}}{p_n} \cdot l_d \quad (\text{A.23})$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene el área máxima.

$$S_c = (0,027781 - 0,022225) \cdot \frac{0,730}{0,027781} \cdot 0,292 = 0,043 \text{ m}^2$$

A partir del caudal másico y el área máxima se calcula el gasto másico mediante la siguiente expresión:

$$G_c = \frac{m}{S_c} \quad (\text{A.24})$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene el gasto másico.

$$G_c = \frac{1,658}{0,043} = 38,878 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Definido el gasto másico, se calcula la velocidad de circulación del etanol en la coraza mediante la siguiente expresión:

$$v_c = \frac{G_c}{\rho} \quad (\text{A.25})$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene la velocidad de circulación del etanol en la coraza.

$$v_c = \frac{38,878}{1,277} = 30,449 \frac{m}{s}$$

El último de los parámetros característicos a determinar de la coraza es el diámetro equivalente de la coraza en la zona de flujo axial, que se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$D_e = 4 \cdot \frac{\text{Sección}}{\text{Perímetro mojado}} = 4 \cdot \frac{(p_n \cdot p_p) - \frac{\pi}{4} \cdot D_{ot}^2}{\pi \cdot D_{ot}} \quad (\text{A.26})$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene el diámetro equivalente de la coraza en la zona de flujo axial.

$$D_e = 4 \cdot \frac{(0,027781 \cdot 0,024059) - \frac{\pi}{4} \cdot 0,022225^2}{\pi \cdot 0,022225} = 0,016 \text{ m}$$

Una vez definidos los parámetros característicos de la coraza, se calcula el coeficiente individual de transmisión de calor en la coraza, este depende del número de Reynolds, el número de Prandtl y el número de Nusselt.

El número de Reynolds en la coraza se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Re_c = \frac{G_c \cdot D_e}{\mu_a} \quad (\text{A.27})$$

Sustituyendo en la expresión anterior el valor de los correspondientes términos se obtiene el valor del número de Reynolds en la coraza.

$$Re_c = \frac{38,878 \cdot 0,016}{1,25 \cdot 10^{-5}} = 5 \cdot 10^4$$

Una vez calculado el número de Reynolds en la coraza se calcula el número de Prandtl en la coraza mediante la siguiente expresión.

$$Pr_c = \frac{c_p^a \cdot \mu_a}{k_a} \quad (\text{A.28})$$

Sustituyendo en la expresión anterior el valor de los correspondientes términos se obtiene el valor del número de Prandtl en la coraza.

$$Pr_c = \frac{1853,01 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5}}{0,029} = 0,796$$

A partir de Re_c y haciendo uso de la siguiente figura adaptada del *Chemical Engineering Design* de Coulson y Richardson's se obtiene el valor de j_n .

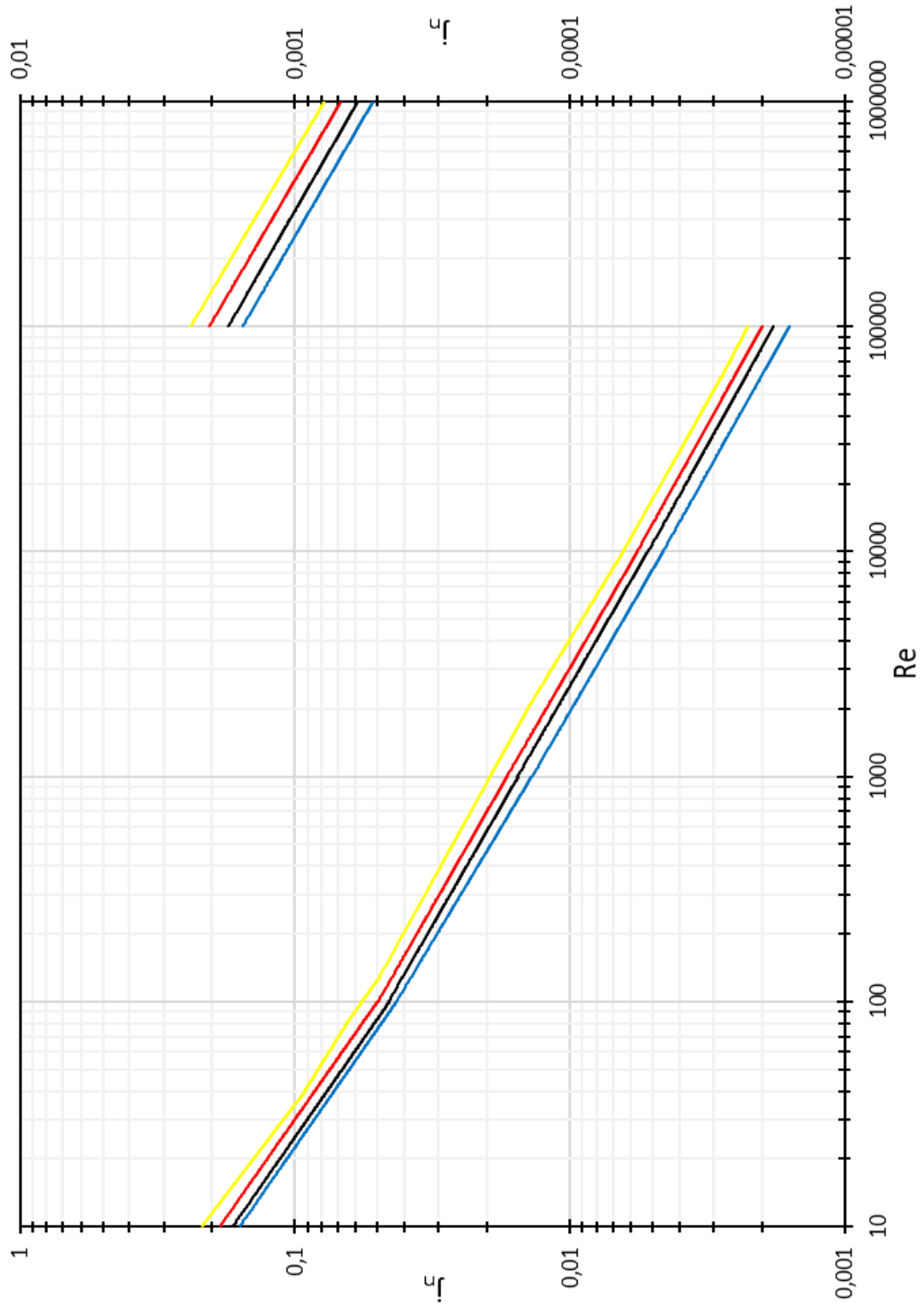


Figura A3. 7 Variación de j_n con el número de Reynolds

<u>Cortes de deflector</u>			
15%	25%	35%	45%

El valor de j_n viene determinado por la siguiente expresión:

$$j_n = \frac{Nu_c}{Re_c \cdot Pr_c} \cdot Pr_c^{2/3} \cdot \left(\frac{\mu_a}{\mu_w}\right)^{-0,14} \quad (\text{A.29})$$

El término $\left(\frac{\mu_a}{\mu_w}\right)^{-0,14}$ se puede considerar despreciable, de modo que la expresión se reduce a:

$$j_n = \frac{Nu_c}{Re_c \cdot Pr_c} \cdot Pr_c^{2/3} \quad (\text{A.30})$$

Para un valor del número de Reynolds de 50.000, leyendo en la figura, se obtiene un valor de j_n de 0,0029.

Reordenando la expresión anterior,

$$Nu_c = j_n \cdot Re_c \cdot Pr_c^{1/3} \quad (\text{A.31})$$

Sustituyendo los valores obtenidos se puede calcular el valor del número de Nusselt en la coraza.

$$Nu_c = 0,0029 \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 0,796^{1/3} = 132,798$$

A partir de la definición del número de Nusselt se obtiene el valor del coeficiente individual de transmisión de calor para la coraza.

$$Nu_c = \frac{h^a \cdot D_e}{k_a} \quad (\text{A.32})$$

Reordenando la expresión,

$$h^a = \frac{Nu_c \cdot k_a}{D_e} \quad (\text{A.33})$$

Sustituyendo los valores obtenidos se obtiene el valor de h^a .

$$h^a = \frac{132,798 \cdot 0,029}{0,016} = 240,298 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.11 Calcular U_o con factores de ensuciamiento

El cálculo del coeficiente global de transmisión de calor se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\frac{1}{U_o} = \left(\frac{D_{ot}}{D_{it}}\right) \cdot \frac{1}{h^b} + \left(\frac{l_c}{k_c}\right)_b \cdot \left(\frac{D_{ot}}{D_{it}}\right) + \frac{e_t}{k_{Acero\ est\andar}} \cdot \left(\frac{D_{ot}}{D_{ml}}\right) + \left(\frac{l_c}{k_c}\right)_a + \frac{1}{h^a} \quad (A.34)$$

El término D_{ml} se refiere al diámetro medio logarítmico, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_{ml} = \frac{D_{ot} - D_{it}}{\ln \left| \frac{D_{ot}}{D_{it}} \right|} \quad (A.35)$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene el valor del diámetro medio logarítmico.

$$D_{ml} = \frac{0,022225 - 0,019725}{\ln \left| \frac{0,022225}{0,019725} \right|} = 0,020950 \text{ m}$$

Coulson y Richardson's, en su libro *Chemical Engineering Design* proponen valores de los coeficientes de ensuciamiento en función del fluido que se contiene. Estos valores se recogen en la siguiente tabla.

Tabla A3. 11 Coeficientes de ensuciamiento

Fluido	Coeficiente de ensuciamiento W/(m ² ·K)
Agua de río	3000 – 12000
Agua de mar	1000 – 3000
Agua de torres de refrigeración	3000 – 6000
Agua potable (blanda)	3000 – 5000
Agua potable (dura)	1000 – 2000
Vapor de agua condensado	1500 – 5000
Vapor de agua (sin aceite)	4000 – 10000
Vapor de agua (con trazas de aceite)	2000 – 5000
Salmuera refrigerada	3000 – 5000
Aire y gases industriales	5000 – 10000
Gases de combustión	2000 – 5000
Vapores orgánicos	5000
Líquidos orgánicos	5000
Hidrocarburos ligeros	5000
Hidrocarburos pesados	2000
Orgánicos en ebullición	2500
Orgánicos condensando	5000
Fluidos de transmisión de calor	5000
Soluciones acuosas salinas	3000 - 5000

De la tabla anterior se emplean los valores de los apartados:

- Vapor de agua (sin aceite), cogiendo un valor de 4000 W/(m²·K)
- Vapores orgánicos, cogiendo un valor de 5000 W/(m²·K)

Así pues, los términos de ensuciamiento quedan de la forma siguiente:

$$\left(\frac{l_c}{k_c}\right)_b = \frac{1}{4000} = 0,00025 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \left(\frac{l_c}{k_c}\right)_a = \frac{1}{5000} = 0,00020 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación A.34, se obtiene 1/U_o.

$$\frac{1}{U_o} = \left(\frac{0,022225}{0,019725}\right) \cdot \frac{1}{347,227} + 0,00025 \cdot \left(\frac{0,022225}{0,019725}\right) + \frac{0,00125}{52} \cdot \left(\frac{0,022225}{0,020950}\right) + 0,00020 + \frac{1}{240,298} = 0,00793 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Despejando se obtiene el valor de U_o.

$$U_o = 126,364 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

El valor de U_o calculado coincide con el supuesto ya que, como se ha comentado con anterioridad, para reflejar los cálculos se emplearía el valor óptimo de U_o . Como el valor supuesto y el calculado coinciden, se finaliza el proceso iterativo.

3.12 Calcular las pérdidas de carga de la coraza y haz de tubos

Al circular fluidos tanto por la coraza como por los tubos, estos experimentan sendas pérdidas de carga que se determinan mediante los procedimientos que se muestran a continuación.

3.12.1 Pérdida de carga en el haz de tubos

La pérdida de carga debida a la contracción a la entrada de los tubos, a la expansión a la salida de los mismos y a la inversión de flujo en los cabezales puede representar una parte significativa de la pérdida de carga total. No existe un método completamente satisfactorio para estimar las pérdidas de carga en los tubos, pero se recomienda el uso de la siguiente ecuación:

$$(-\Delta P) = N_p \cdot \left(4 \cdot f_t \cdot \frac{L_t}{D_{it}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right) \cdot \frac{v_t^2 \cdot \rho_b}{2} \quad (A.36)$$

Siendo N_p el número de pasos por los tubos, en el caso que ocupa, son 2.

El término $\left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{-m}$ se considera despreciable, de modo que la expresión se reduce a lo siguiente:

$$(-\Delta P) = \left(4 \cdot f_t \cdot \frac{L_t}{D_{it}} + 2,5 \right) \cdot v_t^2 \cdot \rho_b \quad (A.37)$$

La velocidad en los tubos se calcula mediante las siguientes definiciones:

$$v_t = \frac{Q_v}{A_t} = \frac{\frac{m_{tubo}}{\rho_b}}{A_t} = \frac{m_{tubo}}{\frac{\pi}{4} \cdot D_{it}^2} \quad (A.38)$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene la velocidad de circulación del vapor de agua por los tubos.

$$v_t = \frac{\frac{0,022}{0,374}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,019725^2} = 191,132 \frac{m}{s}$$

El número de Reynolds es el mismo que el calculado anteriormente: $Re_t = 83.347,45$. A partir del número de Reynolds y empleando la siguiente figura se obtiene el factor de fricción $f_t/2$.

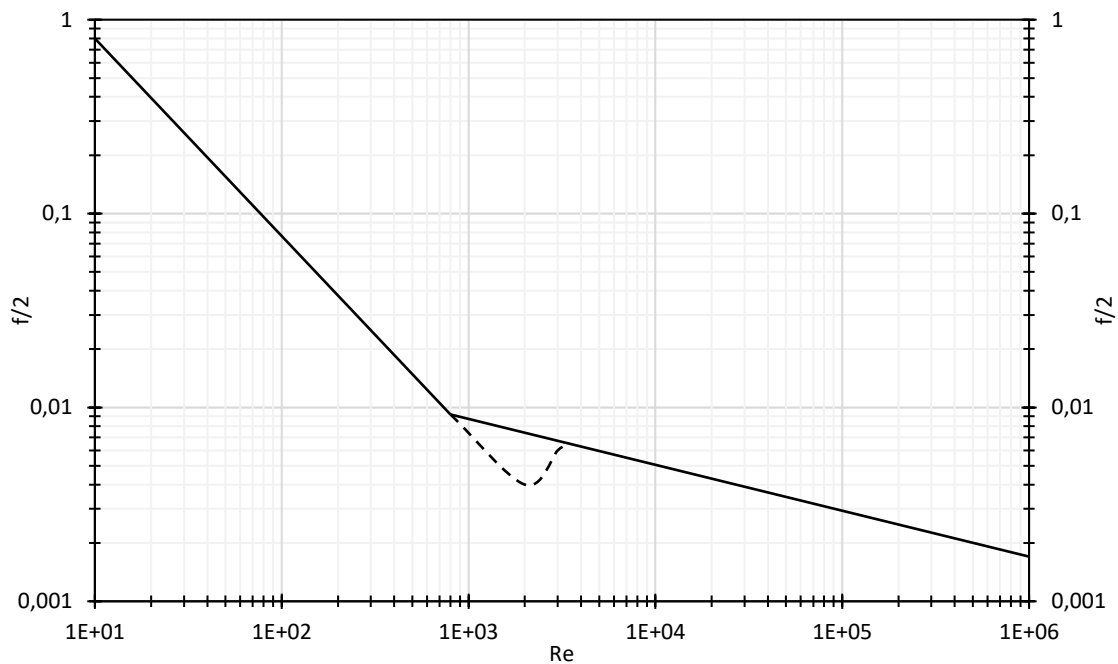


Figura A3. 8 Variación del factor de fricción con el número de Reynolds en el haz de tubos

De la figura se obtiene un valor de $f_t/2$ de 0,00306, por lo que $f_t = 0,00612$.

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación A.37, se obtienen las pérdidas de carga en los tubos.

$$(-\Delta P) = \left(4 \cdot 0,00612 \cdot \frac{1,78}{0,019725} + 2,5\right) \cdot 191,132^2 \cdot 0,374 = 64.396,01 \text{ Pa}$$

$$(-\Delta P) = 64.396,01 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{101325 \text{ Pa}} = 0,636 \text{ atm}$$

3.12.2 Pérdida de carga en la coraza

La pérdida de carga en la coraza según el método de Kern, se determina mediante la siguiente expresión:

$$(-\Delta P) = 4 \cdot f_c \cdot \left(\frac{D_{ic}}{D_e}\right) \cdot \frac{v_a^2 \cdot \rho_a}{2} \cdot \left(\frac{\mu_a}{\mu_w}\right)^{-0,14} \cdot \frac{l_t}{l_d} \quad (\text{A.39})$$

El término $\left(\frac{\mu_a}{\mu_w}\right)^{-0,14}$ se considera despreciable, de modo que la expresión se reduce a lo siguiente:

$$(-\Delta P) = 4 \cdot f_c \cdot \left(\frac{D_{ic}}{D_e}\right) \cdot \frac{v_a^2 \cdot \rho_a}{2} \cdot \frac{l_t}{l_d} \quad (\text{A.40})$$

El factor de fricción f_c se determina mediante la *figura A3. 9* y el valor del número de Reynolds para la coraza, calculado previamente: $Re_c = 50.000$

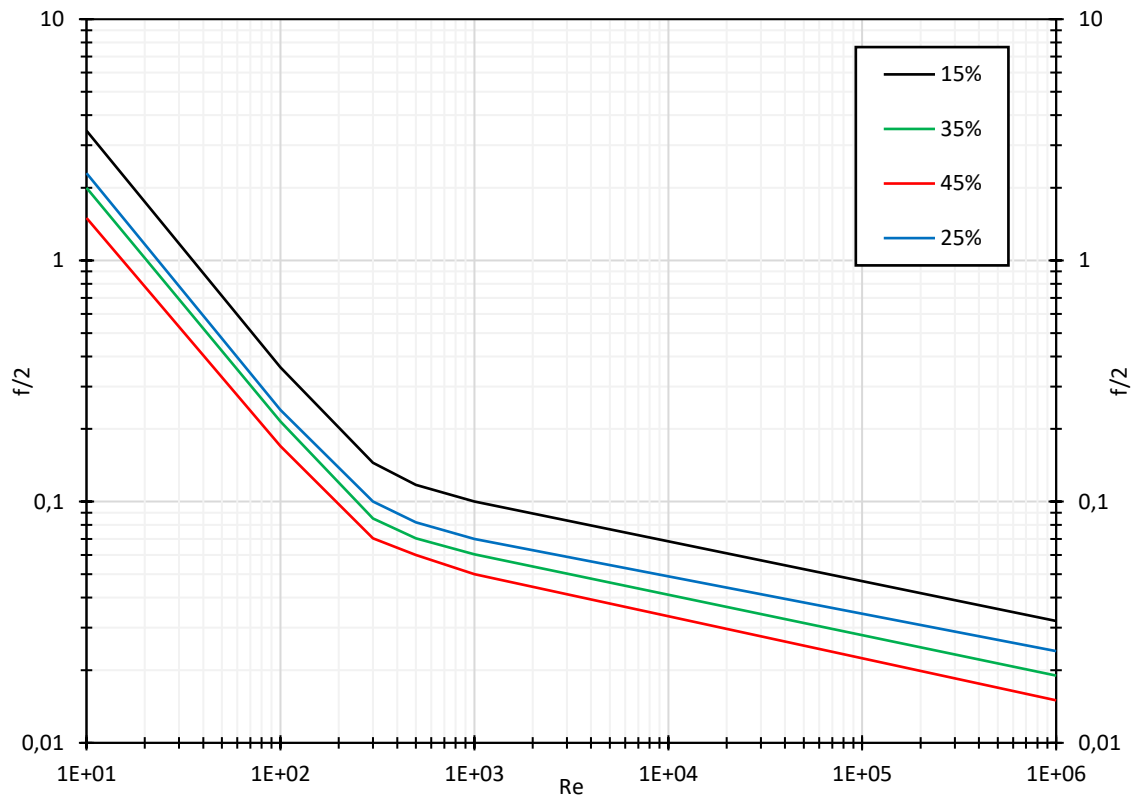


Figura A3. 9 Variación del factor de fricción con el número de Reynolds en la coraza para distintas aperturas de los deflectores

A partir del número de Reynolds en la coraza y la figura anterior, se calcula el factor de fricción en la coraza, $f_c / 2 = 0,0382$ por lo que $f_c = 0,0763$.

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación A.40, se obtienen las pérdidas de carga en la coraza.

$$(-\Delta P) = 4 \cdot 0,0763 \cdot \left(\frac{0,730}{0,016}\right) \cdot \frac{30,449^2 \cdot 1,277}{2} \cdot \frac{1,78}{0,292} = 50.024,63 \text{ Pa}$$

$$(-\Delta P) = 50.024,63 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{101325 \text{ Pa}} = 0,494 \text{ atm}$$

La *tabla A3. 12* recoge a modo de resumen los aspectos de diseño esenciales.

Tabla A3. 12 Parámetros de diseño

Variable	Valor	Unidades
m_{etanol}	5.968,94	kg/h
m_v	16.213,77	kg/h
q	599,11	kW
U_o	126,36	W/(m ² ·K)
A_o	51,15	m ²
L_{rt}	1,83	m
e_{pt}	25	mm
L_t	1,78	m
D_{ot}	22,23	mm
e_t	1,25	mm
D_{it}	19,73	mm
N_t	412	N.º de tubos
D_h	0,639	m
D_{ic}	0,730	m
m_{tubo}	0,022	kg/(s·tubo)
h^b	347,23	W/(m ² ·K)
l_d	0,292	m
S_c	0,043	m ²
G_c	38,88	kg/(m ² ·s)
v_c	30,45	m/s
h^a	240,30	W/(m ² ·K)
$(-\Delta P)_{\text{tubos}}$	0,636	atm
$(-\Delta P)_{\text{coraza}}$	0,494	atm

4 ANEJO 4. DISEÑO DEL REACTOR

4.1 Características de las partículas de catalizador y el lecho

Las características de las partículas incluyen su composición química, que determina de forma primaria la actividad catalítica, y sus propiedades físicas como forma, tamaño, densidad y porosidad, que determinan las características de la difusión.

Las características de la cromita de cobre se muestran en la *tabla A4 .1*.

Tabla A4. 1 Características del catalizador

Característica	Valor	Uds.
Composición Química	CuCr ₂ O ₄	-
ρ_s	4.300	kg/m ³
ϵ_p	0,5	m ³ hueco/m ³ totales
ϵ_B	0,5	m ³ poro/m ³ totales
ρ_B	1.075	kg/m ³
Forma	esférica	-
d_p	0,005	m

La densidad del lecho se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\rho_B = \rho_s \cdot (1 - \epsilon_p) \cdot (1 - \epsilon_B) \quad (\text{A.41})$$

4.2 Diseño

El reactor que se diseña es un reactor de lecho fijo, que consiste en un haz de 200 tubos, rellenos de catalizador, cromita de cobre en forma de esferas de 5 mm de diámetro. El lecho obtenido en el interior del haz de tubos presenta una porosidad interpartícula del 50%.

La corriente de alimento entra por un extremo a 558,15 K y abandona el reactor por el extremo opuesto a 548,07 K. La conversión que se alcanzará será de $X = 0,45$, la conversión es reducida debido a las limitaciones del equilibrio, pero presenta la ventaja que, en el intervalo de temperaturas al que es válida la ecuación de velocidad, la reacción es muy selectiva, evitándose la aparición de productos no deseados por la existencia de reacciones simultáneas. La ecuación de velocidad de reacción química sólo

es válida en el intervalo de temperaturas en que se ha determinado experimentalmente según la bibliografía [22].

Como fluido intercambiador se utiliza el fluido DOWTHERM A, en fase gas y a 650 K, haciendo que condense para mantener la temperatura del fluido intercambiador constante. Fluye en contracorriente con el etanol.

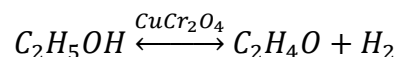
El caudal de alimento al reactor es una corriente de etanol puro, con un caudal de 36 mol/s.

En la *tabla A4. 2* se muestran los pesos moleculares de las distintas especies que intervienen en la reacción.

Tabla A4. 2 Pesos moleculares de las especies que intervienen en la reacción

Espece	Peso Molecular	Uds.
Etanol	0,0461	kg/mol
Acetaldehído	0,0441	kg/mol
Hidrógeno	0,0020	kg/mol

La reacción que se puede considerar que es la única que tiene lugar, tal y como se ha indicado en los párrafos anteriores, se puede representar mediante el siguiente esquema de reacción:

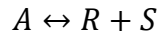


Es necesaria la deducción de la ecuación de velocidad, esta deducción se muestra a continuación.

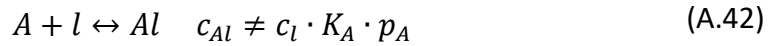
Durante la deducción de la ecuación de velocidad se empleará la siguiente nomenclatura:

- A Etanol
- R Acetaldehído
- S Hidrógeno

Para la producción de acetaldehído a partir de la deshidrogenación de etanol, se deduce la ecuación cinética para el esquema de reacción general que se muestra a continuación:

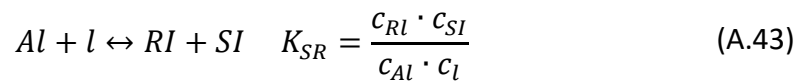


La composición de la fase fluida se expresará en forma de presiones parciales [18]. Para comenzar, se debe suponer que la adsorción de A controla la velocidad, de modo que para la etapa de quimisorción,



Donde l representa el sitio vacante, c_l la concentración del sitio vacante y c_{Al} la concentración quimisorbida de A.

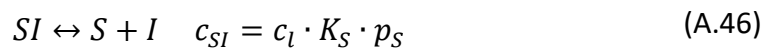
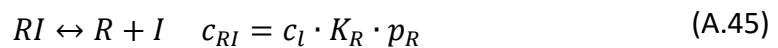
Para la etapa de reacción,



Donde K_{SR} se refiere a la constante de equilibrio en la superficie. Despejando,

$$c_{Al} = \frac{c_{RI} \cdot c_{SI}}{K_{RS} \cdot c_l} \quad (A.44)$$

, y para las etapas de desorción,



Donde K_A , K_R y K_S se refieren a la constante de equilibrio de adsorción de A, R, y S. La concentración total de los sitios activos es la siguiente:

$$\begin{aligned} c_t &= c_l + c_{Al} + c_{RI} + c_{SI} \\ &= c_l + \frac{c_l \cdot K_R \cdot p_R \cdot c_l \cdot K_S \cdot p_S}{K_{RS} \cdot c_l} + c_l \cdot K_R \cdot p_R + c_l \cdot K_S \cdot p_S \\ &= c_l \cdot \left(1 + \frac{K_A}{K_e} \cdot p_R \cdot p_S + K_R \cdot p_R + K_S \cdot p_S \right) \end{aligned} \quad (A.47)$$

En el último paso se ha utilizado la relación global de equilibrio, $K=K_A \cdot K_{SR}/(K_R \cdot K_S)$. Las expresiones obtenidas se sustituyen en la ecuación de velocidad de adsorción,

$$r_A = k' \cdot \left(p_A \cdot c_l - \frac{c_{Al}}{K_A} \right) \quad (\text{A.48})$$

para dar

$$r_A = \frac{k \cdot \left(p_A - \frac{p_R \cdot p_S}{K_e} \right)}{1 + \frac{K_A}{K_e} \cdot p_R \cdot p_S + K_R \cdot p_R + K_S \cdot p_S} \quad (\text{A.49})$$

La ecuación anterior es la ecuación cinética de la reacción $A \leftrightarrow R + S$ asumiendo que la adsorción es del tipo $A + I \leftrightarrow AI$, de segundo orden para la reacción directa y de primer orden para la reacción inversa, y es la etapa que determina la velocidad de reacción.

Para las reacciones donde se empleen catalizadores sólidos, Levenspiel [21] define la ecuación de velocidad r_A de la forma siguiente.

$$r_A = \frac{[\text{Factor cinético}] \cdot [\text{Fuerza impulsora}]}{[\text{Término de resistencia}]} \quad (\text{A.50})$$

Yang y Hougen, en 1950, tabularon los distintos factores que definen la velocidad de reacción, y a partir de estos datos, se construye la ecuación de velocidad que rige el proceso de deshidrogenación del etanol para producir acetaldehído,

$$r_A = \frac{k \cdot \left(p_A - \frac{p_R \cdot p_S}{K_e} \right)}{[1 + K_A \cdot p_A + K_R \cdot p_R + K_S \cdot p_S]^2} \quad (\text{A.51})$$

En *Kinetic study of the dehydrogenation of ethanol* [22] se define la ecuación de velocidad que rige el proceso por la siguiente ecuación:

$$r_A = \frac{k \cdot \left(p_A - \frac{p_R \cdot p_S}{K_e} \right)}{[1 + K_A \cdot p_A + K_{RS} \cdot p_R]^2} \left[\frac{\text{mol}}{\text{kg cat} \cdot \text{h}} \right] \quad (\text{A.52})$$

Que no es más que una simplificación, donde el término K_{RS} relaciona el efecto combinado de la adsorción del acetaldehído y el hidrógeno, ya que la contribución de sendos compuestos no se había estudiado hasta la fecha.

Peloso et al. [22] determinaron la variación de los coeficientes de adsorción y la constante de velocidad de la reacción con la temperatura según la ecuación de Arrhenius (ecuación A.53):

$$k = A \cdot e^{\left(\frac{-E}{R \cdot T}\right)} \quad (\text{A.53})$$

Los autores definieron las siguientes expresiones:

$$k = e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \quad (\text{A.54})$$

$$K_A = e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \quad (\text{A.55})$$

$$K_{RS} = e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \quad (\text{A.56})$$

La constante de equilibrio según los estudios de J. W. Anderson y colaboradores, varía con la temperatura de acuerdo con la siguiente expresión:

$$K_e = e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)} \quad (\text{A.57})$$

Se definen las presiones parciales mediante la siguiente expresión,

$$p_j = P \cdot x_j \quad (\text{A.58})$$

, siendo x_j ,

$$x_j = \frac{x_{jo} - \frac{v_j}{v_k} \cdot x_{ko} \cdot X}{(1 + \varepsilon_k \cdot X)} \quad (\text{A.59})$$

$$p_j = P \cdot \frac{x_{j0} - \frac{v_j}{v_k} \cdot x_{k0} \cdot X}{(1 + \varepsilon_k \cdot X)} \quad (\text{A.60})$$

$$\varepsilon = \frac{\sum v_j}{-v_k} \quad (\text{A.61})$$

Para la reacción que se estudia:

$$\varepsilon = 1 + 1 - 1 = 1$$

Para los distintos componentes la expresión queda de la forma:

$$p_A = P \cdot \frac{x_{A0} \cdot (1 - X)}{(1 + X)} \quad (\text{A.62})$$

$$p_R = P \cdot \frac{x_{A0} \cdot X}{(1 + X)} \quad (\text{A.63})$$

$$p_S = P \cdot \frac{x_{A0} \cdot X}{(1 + X)} \quad (\text{A.64})$$

, teniendo en cuenta que el alimento es una corriente de etanol puro ($x_{A0} = 1$),

$$p_A = P \cdot \frac{1 - X}{1 + X} \quad (\text{A.65})$$

$$p_R = P \cdot \frac{X}{1 + X} \quad (\text{A.66})$$

$$p_S = P \cdot \frac{X}{1 + X} \quad (\text{A.67})$$

, por lo que la ecuación de velocidad queda:

$$r_A = \frac{e^{(17,900 - \frac{5810,5}{T})} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1 - X}{1 + X} \right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1 + X} \right)^2}{e^{(11,820 - \frac{6189,1}{T})}} \right)}{\left[1 + e^{(-1,175 + \frac{1166,6}{T})} \cdot P \cdot \left(\frac{1 - X}{1 + X} \right) + e^{(1,057 - \frac{690,2}{T})} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1 + X} \right) \right]^2} \quad (\text{A.68})$$

La ecuación de velocidad, así como los coeficientes de adsorción y la constante de velocidad, únicamente son válidos para las condiciones estudiadas por [22] en *Kinetics of the dehydrogenation of ethanol to acetaldehyde on unsupported catalysts*.

Las condiciones son las siguientes: T_0 c [498,15 – 558,15 K] X c [0 – 0,45]

Bajo estas condiciones no se dan reacciones secundarias, ya que la reacción podría no ser única, como se muestra en la *figura A4. 1*.

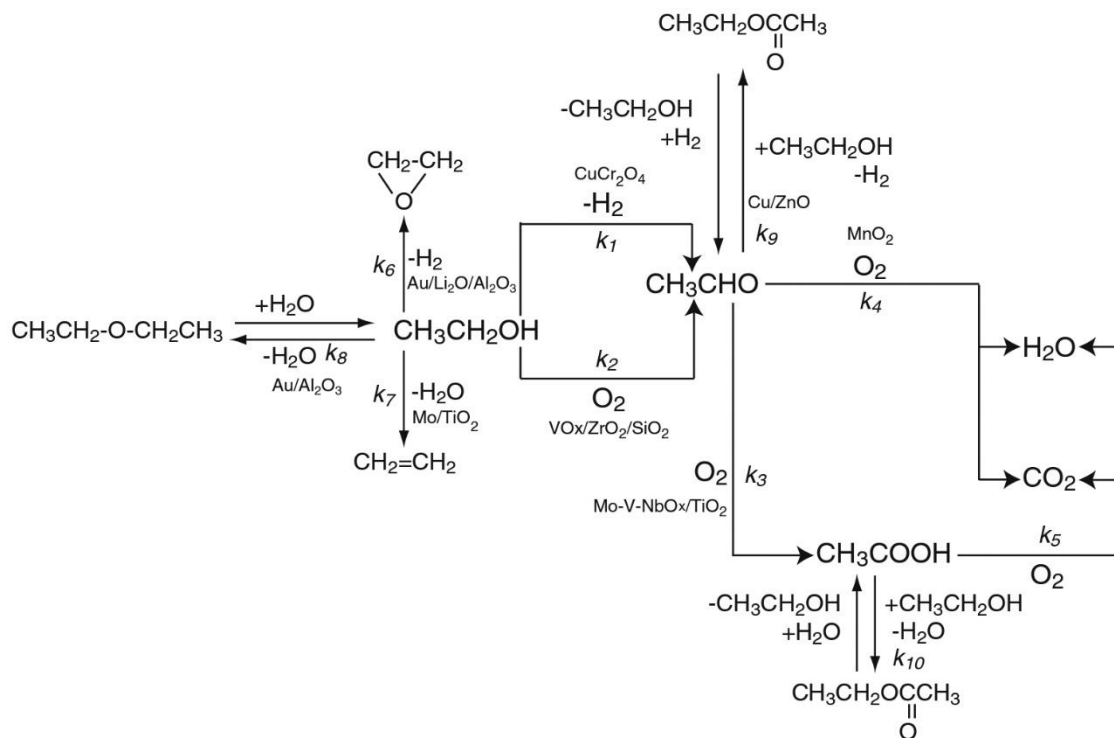


Figura A4. 1 Posibles reacciones

A partir de la definición de la ecuación de velocidad, se puede obtener la variación del grado de conversión de equilibrio con la temperatura, para ello, se iguala la ecuación de velocidad a 0, $r = 0$.

$$\frac{k \cdot \left(p_A - \frac{p_R \cdot p_S}{K_e} \right)}{[1 + K_A \cdot p_A + K_{RS} \cdot p_R]^2} = 0 \quad (\text{A.69})$$

, operando,

$$\left(p_A - \frac{p_R \cdot p_S}{K_e}\right) = 0 \quad (\text{A.70})$$

$$p_A \cdot K_e - p_R \cdot p_S = 0 \quad (\text{A.71})$$

Introduciendo la definición de las presiones parciales en equilibrio,

$$P \cdot \frac{1 - X_{eq}}{1 + X_{eq}} \cdot K_e - \left(P \cdot \frac{X_{eq}}{1 + X_{eq}}\right) \cdot \left(P \cdot \frac{X_{eq}}{1 + X_{eq}}\right) = 0 \quad (\text{A.72})$$

$$P \cdot (1 - X_{eq}) \cdot (1 + X_{eq}) \cdot K_e - P^2 \cdot X_{eq}^2 = 0 \quad (\text{A.73})$$

$$(1 - X_{eq}) \cdot (1 + X_{eq}) \cdot K_e - P \cdot X_{eq}^2 = 0 \quad (\text{A.74})$$

$$(1 - X_{eq}^2) \cdot K_e - P \cdot X_{eq}^2 = 0 \quad (\text{A.75})$$

$$K_e - (K_e + P) \cdot X_{eq}^2 = 0 \quad (\text{A.76})$$

$$X_{eq} = \pm \sqrt{\frac{K_e}{K_e + P}} \quad (\text{A.77})$$

Introduciendo la definición de la constante de equilibrio,

$$X_{eq} = \pm \sqrt{\frac{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)} + P}} \quad (\text{A.78})$$

, despreciando la solución negativa por carecer de sentido físico,

$$X_{eq} = \sqrt{\frac{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)} + P}} \quad (\text{A.79})$$

La *figura A4. 2* representa la variación del grado de conversión de equilibrio con la temperatura para distintas presiones totales (constantes).

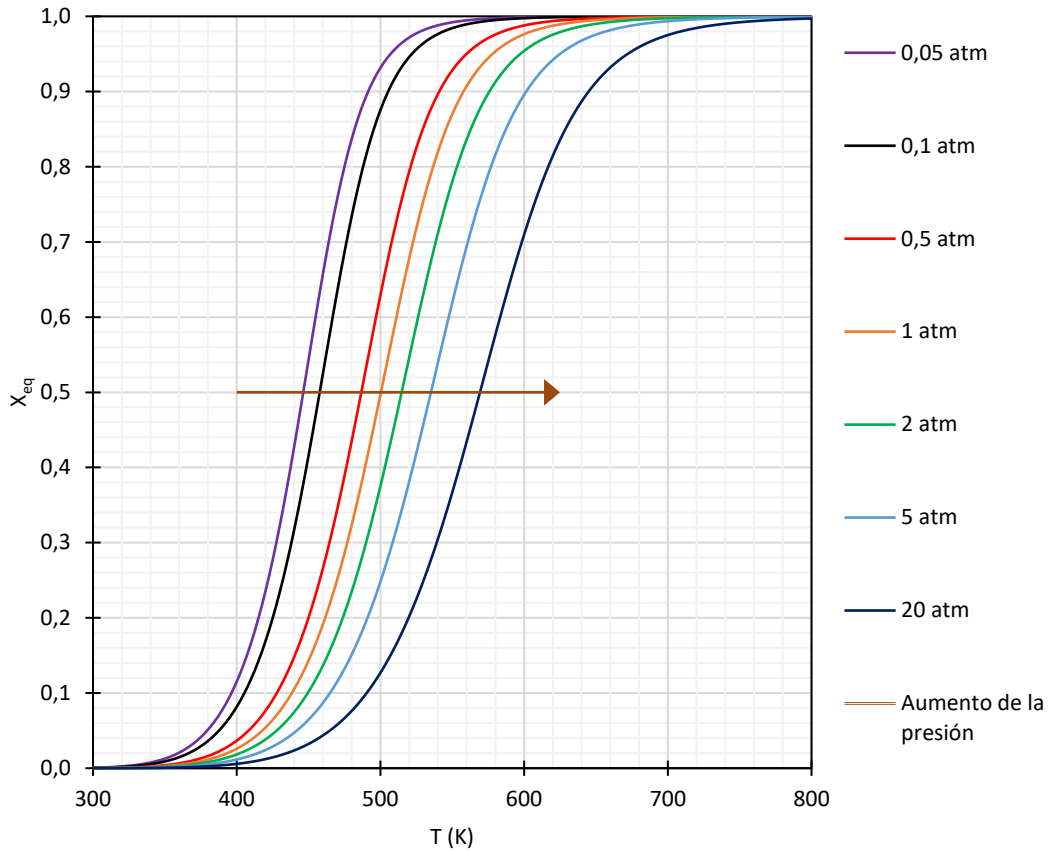


Figura A4. 2 Variación de la conversión de equilibrio con la temperatura

Se ha representado la ecuación de velocidad para distintas temperaturas y grados de conversión, pero manteniendo la presión constante haciendo uso del programa Scilab 6.0.1. La representación se muestra en la *figura A4. 3*.

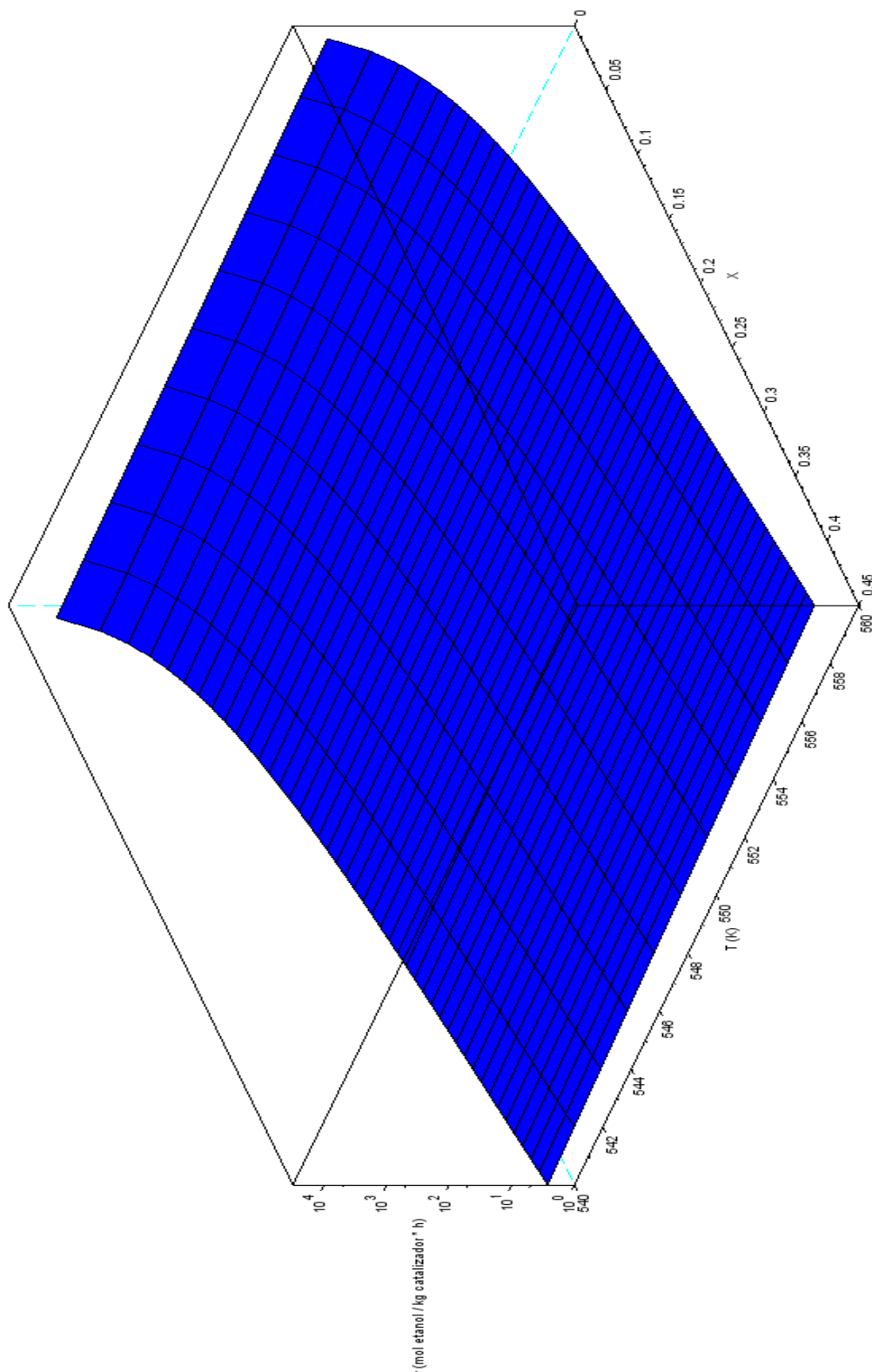


Figura A4. 3 Representación tridimensional de la velocidad de reacción

Una vez definida la ecuación de velocidad de reacción, se definen los balances de materia y energía que se emplean en el diseño.

4.3 Balance de Materia

$$\text{SALIDA} - \text{ENTRADA} + \text{ACUMULACIÓN} = \text{GENERACIÓN} \quad (\text{A.80})$$

Para definir el balance de materia [14], se opera en forma diferencial y en estado estacionario (Acumulación = 0), por lo que:

$$F_j + dF_j - F_j + 0 = R_j \cdot dV \quad (\text{A.81})$$

, operando se obtiene la siguiente expresión:

$$dF_j = R_j \cdot dV \quad (\text{A.82})$$

, teniendo en cuenta la definición de R_j y F_j ,

$$R_j = v_j \cdot r \quad (\text{A.83})$$

$$F_j = F_{j0} + \frac{v_j}{(-v_k)} \cdot F_{k0} \cdot X \quad (\text{A.84})$$

, derivando la expresión,

$$dF_j = \frac{v_j}{(-v_k)} \cdot F_{k0} \cdot dX \quad (\text{A.85})$$

, sustituyendo R_j y dF_j en la ecuación A.85,

$$\frac{v_j}{(-v_k)} \cdot F_{k0} \cdot dX = v_j \cdot r \cdot dV \quad (\text{A.86})$$

, reordenando la expresión,

$$\frac{dV}{dX} = F_{k0} \cdot \frac{1}{(-v_k) \cdot r} \quad (\text{A.87})$$

, definiendo la expresión del volumen de reacción y su diferencial,

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \ell \quad (\text{A.88})$$

$$dV = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot d\ell \quad (\text{A.89})$$

, sustituyendo en la ecuación A.87 y reordenando,

$$\frac{d\ell}{dX} = \frac{F_{k0}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} \cdot \frac{1}{(-v_k) \cdot r} \quad (\text{A.90})$$

, donde r viene expresada en $\text{kmol/m}^3 \cdot \text{s}$. Teniendo en cuenta que la ecuación de velocidad experimental está definida por kg de catalizador, empleando el término ρ_B , densidad del lecho de catalizador, se adecúan las unidades.

$$\frac{d\ell}{dX} = \frac{F_{k0}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_B} \cdot \frac{1}{(-v_k) \cdot r} \quad (\text{A.91})$$

Sustituyendo la expresión de velocidad de reacción,

$$\begin{aligned} & \frac{d\ell}{dX} \\ &= \frac{F_{k0}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_B} \\ & \cdot \frac{1}{(-v_k) \cdot e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X} \right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1+X} \right)^2}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}} \right)} \left[1 + e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X} \right) + e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1+X} \right) \right]^2 \end{aligned} \quad (\text{A.92})$$

, reorganizando los términos:

$$\begin{aligned} \frac{d\ell}{dX} &= \frac{F_{k0}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_B} \\ &= \frac{\left[1 + e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) + e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right) \right]^2}{(-v_k) \cdot e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}} \right)} \end{aligned} \quad (\text{A.93})$$

Se define el parámetro ξ ,

$$\xi = \frac{F_{k0}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_B} \quad (\text{A.94})$$

, teniendo en cuenta que $v_k = -1$, la expresión se reduce a:

$$\frac{d\ell}{dX} = \xi \cdot \frac{\left[1 + e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) + e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right) \right]^2}{e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}} \right)} \quad (\text{A.95})$$

4.4 Balance de Energía

En primer lugar, se plantea el balance de energía general (kJ/s) y a partir de este, se aplican las simplificaciones correspondientes al reactor de flujo de pistón.

$$\text{SALIDA} - \text{ENTRADA} + \text{ACUMULACIÓN} = \text{GENERACIÓN} + \text{TRANSMISIÓN} \quad (\text{A.96})$$

No existe generación de energía, por tanto, $G = 0$. Este término solo presenta valor en los reactores nucleares.

En el caso de la transmisión, esta se define como: $T = Q^* + W^*$, y se sabe que $Q^* \gg W^*$, por tanto, el término de transmisión se simplifica a: $T = Q^*$.

En cuanto a los términos de salida, entrada y acumulación, estos se refieren a la energía que va asociada a la materia que entra, sale y se acumula en el reactor, por ello se utilizan los siguientes términos:

Tabla A4. 3 Términos energéticos

Símbolo	Significado	Uds.
e_p	Energía potencial	kJ/kmol totales
e_k	Energía cinética	kJ/kmol totales
u	Energía interna	kJ/kmol totales
P/ρ_m	Energía de flujo	kJ/kmol totales

Con esto, la energía asociada a la materia se define como:

$$e_p + e_k + u + P/\rho_m \quad (\text{A.97})$$

La simplificación más habitual es:

$$e_p + e_k \ll u + P/\rho_m \quad (\text{A.98})$$

Aplicando las definiciones de termodinámica clásica:

$$H = U + P \cdot V \quad (\text{A.99})$$

$$\frac{H}{N_t} = \frac{U}{N_t} + P \cdot \frac{V}{N_t} \quad (\text{A.100})$$

$$h = u + P/\rho_m \quad (\text{A.101})$$

Definidos los siguientes términos, se definen las expresiones siguientes:

$$S - E = \int_A (e_p + e_k + u + P/\rho_m) \cdot \rho_m \cdot (\vec{v} \cdot \vec{n}) \cdot dA \quad (\text{kJ/s}) \quad (\text{A.102})$$

$$A = \frac{d}{dt} \int_V (e_p + e_k + u) \cdot \rho_m \cdot dV \quad (\text{kJ/s}) \quad (\text{A.103})$$

Aplicadas las simplificaciones, el balance general de energía queda de la forma siguiente:

$$\int_A (e_p + e_k + u + P/\rho_m) \cdot \rho_m \cdot (\vec{v} \cdot \vec{n}) \cdot dA + \frac{d}{dt} \int_V (e_p + e_k + u) \cdot \rho_m \cdot dV = Q^* \text{ (kJ/s)} \quad (\text{A.104})$$

, aplicando las definiciones de la termodinámica clásica:

$$\int_A h \cdot \rho_m \cdot (\vec{v} \cdot \vec{n}) \cdot dA + \frac{d}{dt} \int_V (h - P/\rho_m) \cdot \rho_m \cdot dV = Q^* \text{ (kJ/s)} \quad (\text{A.105})$$

$$\int_A d(F_t \cdot h) + \frac{d}{dt} \int_V (h \cdot \rho_m - P) \cdot dV = Q^* \text{ (kJ/s)} \quad (\text{A.106})$$

Para poder continuar definiendo el balance de energía es necesario recurrir a las expresiones de entalpía de una especie química:

- La entalpía de una especie química a la entrada del reactor se define como:

$$h_{j0} = (\Delta H_{f,j}^0)_{298,15} + \int_{298,15}^{T_0} c_{pj} \cdot dT \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol } A_j} \right) \quad (\text{A.107})$$

- En cualquier otro punto del reactor:

$$h_j = (\Delta H_{f,j}^0)_{298,15} + \int_{298,15}^T c_{pj} \cdot dT \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol } A_j} \right) \quad (\text{A.108})$$

Se puede definir un calor específico medio, a pesar de que este varía con la temperatura, de este modo se simplifican los cálculos.

$$h_{j0} = (\Delta H_{f,j}^0)_{298,15} + \int_{298,15}^{T_0} c_{pj} \cdot dT = (\Delta H_{f,j}^0)_{298,15} + \bar{c}_{pj} \cdot (T_0 - 298,15) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol } A_j} \right) \quad (\text{A.109})$$

$$\begin{aligned} h_j &= (\Delta H_{f,j}^0)_{298,15} + \int_{298,15}^T c_{pj} \cdot dT \\ &= (\Delta H_{f,j}^0)_{298,15} + \bar{c}_{pj} \cdot (T - 298,15) \left(\frac{kJ}{kmol A_j} \right) \end{aligned} \quad (A.110)$$

Definiendo su expresión diferencial:

$$dh_j = c_{pj} \cdot dT \left(\frac{kJ}{kmol A_j} \right) \quad (A.111)$$

- Se define la entalpía de una reacción química por mol de componente clave a la temperatura de reacción como:

$$\Delta H_r^0 = (\Delta H_r^0)_{298,15} + \Delta c_p \cdot (T - T_0) \quad (A.112)$$

A partir de la relación molar en la corriente de entrada,

$$\theta_j = \frac{F_{j0}}{F_{k0}} \left(\frac{kmol A_j}{kmol A_k} \right) \quad (A.113)$$

y de la entalpía de reacción, se define el parámetro J para una reacción química:

$$J = \frac{-\Delta H_r^0}{\sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{pj}} \quad (K) \quad (A.114)$$

En el caso de los reactores continuos tubulares de flujo de pistón el flujo de circulación de los fluidos es normal a la superficie de entrada y de salida, pero las propiedades de la mezcla de reacción cambian a medida que avanza a lo largo de la longitud del reactor. La *figura A4. 4* muestra un esquema representativo de un reactor de flujo de pistón.

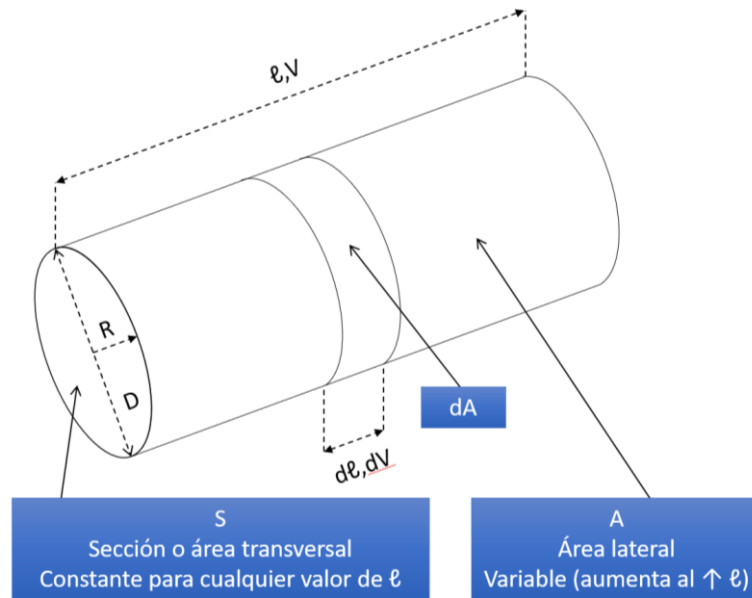


Figura A4. 4 Esquema representativo de un reactor de flujo de pistón

Este comportamiento específico obliga a aplicar el balance de energía general, *ecuación A.106*, de forma diferencial a un elemento de volumen dV . En consecuencia, si solo se considera el funcionamiento en régimen estacionario,

$$d(F_t \cdot h) = dQ^* \quad (\text{A.115})$$

, que desarrollando se llega a:

$$\sum_{j=1}^S F_j \cdot dh_j + \sum_{j=1}^S dF_j \cdot h_j = dQ^* \quad (\text{A.116})$$

La ecuación anterior se puede expresar en función del grado de conversión (X) y la temperatura en lugar de con los caudales molares y la entalpía.

A partir de las *ecuaciones A.84 y A.85*, y sustituyéndolas en la expresión desarrollada del balance de energía general:

$$\sum_{j=1}^S \left(F_{j0} - \frac{\nu_j}{\nu_k} \cdot F_{k0} \cdot X \right) \cdot dh_j + \sum_{j=1}^S \left(-F_{k0} \cdot \frac{\nu_j}{\nu_k} \cdot dX \right) \cdot h_j = dQ^* \quad (\text{A.117})$$

, operando,

$$\sum_{j=1}^S F_{j0} \cdot dh_j + F_{k0} \cdot X \cdot \sum_{j=1}^S \frac{\nu_j}{-\nu_k} \cdot dh_j + F_{k0} \cdot dX \cdot \sum_{j=1}^S \frac{\nu_j}{-\nu_k} \cdot h_j = dQ^* \quad (\text{A.118})$$

Introduciendo la definición de entalpía de una especie química, la entalpía de reacción (asumiéndola constante en toda la longitud del reactor) y sus correspondientes diferenciales, se llega a:

$$\left(\sum_{j=1}^S F_{j0} \cdot \overline{c_{pJ}} \right) \cdot dT + F_{k0} \cdot \Delta H_r^0 \cdot dX = dQ^* \quad (\text{A.119})$$

, teniendo en cuenta la definición del parámetro J:

$$dT - J \cdot dX = \frac{dQ^*}{F_{k0} \cdot \sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \overline{c_{pJ}}} \quad (\text{A.120})$$

, si se define el parámetro dQ,

$$dQ = \frac{dQ^*}{F_{k0} \cdot \sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \overline{c_{pJ}}} \quad (\text{A.121})$$

, el balance se simplifica a:

$$dT - J \cdot dX = dQ \quad (K) \quad (\text{A.122})$$

, que se puede definir a lo largo de la longitud del reactor:

$$\frac{dT}{d\ell} - J \cdot \frac{dX}{d\ell} = \frac{dQ}{d\ell} \quad (\text{A.123})$$

Es necesario definir la ecuación de velocidad de transmisión de calor:

$$\frac{dQ}{d\ell} = \frac{dQ^*}{F_{k0} \cdot \sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \overline{c_{pJ}}} \cdot \frac{1}{d\ell} \quad (\text{A.124})$$

, teniendo en cuenta la definición de dQ*:

$$dQ^* = U \cdot (T_f - T) \cdot dA \quad (\text{A.125})$$

, teniendo en cuenta que el área lateral de un reactor de flujo de pistón se define por la siguiente expresión:

$$A = \pi \cdot D \cdot \ell \quad (\text{A.126})$$

, y su derivada:

$$dA = \pi \cdot D \cdot d\ell \quad (\text{A.127})$$

, así pues, sustituyendo las expresiones anteriores en la *ecuación A.124*, se llega a:

$$\frac{dQ}{d\ell} = \frac{U \cdot (T_f - T)}{F_{ko} \cdot \sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{p_j}} \cdot \frac{dA}{d\ell} \quad (\text{A.128})$$

, sustituyendo la definición de dA:

$$\frac{dQ}{d\ell} = \frac{U \cdot (T_f - T) \cdot \pi \cdot D \cdot d\ell}{F_{ko} \cdot \sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{p_j}} \cdot \frac{1}{d\ell} \quad (\text{A.129})$$

, que se simplifica a:

$$\frac{dQ}{d\ell} = \frac{U \cdot \pi \cdot D \cdot (T_f - T)}{F_{ko} \cdot \sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{p_j}} \quad (\text{A.130})$$

Sustituyendo la expresión en la *ecuación A.123*,

$$\frac{dT}{d\ell} - J \cdot \frac{dX}{d\ell} = \frac{U \cdot \pi \cdot D \cdot (T_f - T)}{F_{ko} \cdot \sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{p_j}} \quad (\text{A.131})$$

Se pueden multiplicar todos los términos de la ecuación por $d\ell/dX$ (balance de materia) para simplificar la expresión:

$$\frac{dT}{dX} - J = \frac{U \cdot \pi \cdot D \cdot (T_f - T)}{F_{k0} \cdot \sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{pj}} \cdot \frac{F_{k0}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_B} \cdot \frac{1}{(-v_k) \cdot r} \quad (\text{A.132})$$

, simplificando la expresión,

$$\frac{dT}{dX} = J + \frac{4 \cdot U}{\sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{pj} \cdot D \cdot \rho_B} \cdot \frac{(T_f - T)}{(-v_k) \cdot r} \quad (\text{A.133})$$

, sustituyendo la ecuación de velocidad de reacción,

$$\begin{aligned} & \frac{dT}{dX} \\ &= J + \frac{\left[1 + e^{(-1,175 + \frac{1166,6}{T})} \cdot P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X} \right) + e^{(1,057 - \frac{690,2}{T})} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1+X} \right) \right]^2}{(-v_k) \cdot e^{(17,900 - \frac{5810,5}{T})} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X} \right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1+X} \right)^2}{e^{(11,820 - \frac{6189,1}{T})}} \right)} \\ & \cdot \frac{4 \cdot U \cdot (T_f - T)}{\sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{pj} \cdot D \cdot \rho_B} \end{aligned} \quad (\text{A.134})$$

Definiendo el parámetro λ ,

$$\lambda = \frac{4 \cdot U}{\sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{pj} \cdot D \cdot \rho_B} \quad (\text{A.135})$$

, la expresión queda:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dX} &= J + \lambda \\ &= \frac{\left[1 + e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) + e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right) \right]^2}{e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}} \right)} \cdot (T_f - T) \end{aligned} \quad (\text{A.136})$$

4.5 Pérdida de Carga

En los lechos fijos de partículas de catalizador, el paso del fluido a través de los huecos que dejan las partículas sólidas, determina una pérdida de carga que interesa reducir al mínimo, pero sin perder la eficacia en el contacto sólido-fluido o que disminuya el rendimiento de la operación que se está llevando a cabo [27].

A partir de esto se debe tener en cuenta la geometría del sólido, en este caso esferas de cromita de cobre, por otra parte, debe evitarse la formación de canales preferentes del fluido en las zonas próximas a la pared, también conocido como efecto pared.

Para el cálculo de las pérdidas de carga a lo largo del reactor de lecho fijo se ha empleado la ecuación de Ergun, que no es más que una combinación lineal de las ecuaciones de Kozeny (régimen laminar) y Carman (régimen turbulento).

La ecuación de Ergun por tanto, abarca un mayor intervalo de valores y se emplea como ecuación de diseño general [25]. Queda definida por la siguiente expresión:

$$\frac{dP}{d\ell} = - \frac{G_{k0}}{\rho_{etanol} \cdot d_p} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \left(\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)}{d_p} + 1,75 \cdot G_{k0} \right) \cdot \frac{F_t}{F_{t0}} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T}{T_0} \quad (\text{A.137})$$

Teniendo en cuenta la definición de F_t :

$$F_t = F_{etanol} + F_{acetaldehido} + F_{hidrógeno} \quad (\text{A.138})$$

$$F_{etanol} = F_{etanol,0} \cdot (1 - X) \quad (A.139)$$

$$F_{acetaldehído} = F_{hidrógeno} = F_{etanol,0} \cdot X \quad (A.140)$$

, reagrupando:

$$F_t = F_{etanol,0} \cdot (1 + X) \quad (A.141)$$

, sustituyendo la definición de F_t en la ecuación A.137, se tiene que:

$$\frac{dP}{d\ell} = - \frac{G_{k0}}{\rho_{etanol} \cdot d_p} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \left(\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)}{d_p} + 1,75 \cdot G_{k0} \right) \cdot (1 + X) \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T}{T_0} \quad (A.142)$$

, multiplicando ambos términos por el balance de materia ($d\ell/dX$), la expresión queda:

$$\frac{dP}{dX} = - \frac{G_{k0}}{\rho_{etanol} \cdot d_p} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \left(\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)}{d_p} + 1,75 \cdot G_{k0} \right) \cdot (1 + X) \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{\xi}{r} \quad (A.143)$$

Definiendo el parámetro δ ,

$$\delta = \frac{G_{k0}}{\rho_{etanol} \cdot d_p} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \left(\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)}{d_p} + 1,75 \cdot G_{k0} \right) \cdot \frac{P_0}{T_0} \cdot \xi \quad (A.144)$$

, la expresión queda:

$$\frac{dP}{dX} = -\delta \cdot (1 + X) \cdot \frac{T}{P} \cdot \frac{1}{r} \quad (A.145)$$

, sustituyendo la ecuación de velocidad:

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dX} &= -\delta \cdot (1 + X) \cdot \frac{T}{P} \\ &= \frac{\left[1 + e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{1 - X}{1 + X}\right) + e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1 + X}\right) \right]^2}{e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1 - X}{1 + X}\right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1 + X}\right)^2}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}} \right)} \end{aligned} \quad (\text{A.146})$$

Las ecuaciones A.95, A.136 y A.146 se deben resolver de forma simultánea para obtener los perfiles de grado de conversión, temperatura y pérdida de carga a lo largo del reactor.

$$\frac{d\ell}{dX} = \xi \cdot \frac{\left[1 + e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) + e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right) \right]^2}{e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}} \right)}$$

$$\frac{dT}{dX} = J + \lambda \cdot \frac{\left[1 + e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) + e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right) \right]^2}{e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}} \right)} \cdot (T_f - T)$$

$$\frac{dP}{dX} = -\delta \cdot (1+X) \cdot \frac{T}{P} \cdot \frac{\left[1 + e^{\left(-1,175 + \frac{1166,6}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) + e^{\left(1,057 - \frac{690,2}{T}\right)} \cdot P \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right) \right]^2}{e^{\left(17,900 - \frac{5810,5}{T}\right)} \cdot \left(P \cdot \left(\frac{1-X}{1+X}\right) - \frac{P^2 \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{e^{\left(11,820 - \frac{6189,1}{T}\right)}} \right)}$$

4.6 Resolución

Para poder resolver los balances de materia, energía y pérdida de carga, es necesaria la definición de la entalpía de reacción.

La entalpía de reacción (ΔH_r^0) se determina mediante la ecuación A.112:

Los datos de la siguiente tabla se han obtenido de *Perry's Chemical Engineers' Handbook (7th Edition), Vol. I, Tabla 2-221*.

Tabla A4. 4 Entalpías de formación de las especies que intervienen en la reacción

Compuesto	ν	$\Delta H_f^0(298, 15 \text{ K})$ [J/mol]	$\Delta G_f^0(298, 15 \text{ K})$ [J/mol]
Etanol	-1	-234.950	-167.850
Acetaldehído	1	-166.200	-133.100
Hidrógeno	1	-	-

La entalpía de reacción a 298,15 K se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$(\Delta H_r^0)_{298,15} = \sum_{j=1}^{j=2} \nu_j \cdot (\Delta H_{f,j}^0)_{298,15} \quad (\text{A.147})$$

, aplicando la ecuación A.147 al sistema que se está estudiando:

$$(\Delta H_r^0)_{298,15} = (-1) \cdot (-234.950) + (1) \cdot (-166.200) = 68.750 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Para poder obtener el valor de la entalpía de reacción a las condiciones óptimas (T = 558,15 K), es necesario el cálculo de Δc_p , que se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\Delta c_p = \sum_{j=1}^S \nu_j \cdot c_{pj} \quad (\text{A.148})$$

, así pues, aplicando la expresión anterior al sistema que se está estudiando, se obtiene:

$$\Delta c_p = (-1) \cdot c_{p-\text{Etanol}} + (1) \cdot c_{p-\text{Acetaldehído}} + (1) \cdot c_{p-\text{Hidrógeno}} \quad (\text{A.149})$$

Los valores específicos de los compuestos se han determinado mediante el modelo de Peng- Robinson que se ha descrito a continuación.

4.6.1 La ecuación de estado Peng-Robinson

La ecuación de estado de Peng-Robinson (1976) es una ecuación de dos parámetros y de tercer grado respecto al volumen que cumple las siguientes premisas:

1. Los parámetros se deben expresar en función de P_c y T_c , presión y temperatura críticas y el factor acéntrico ω de Pitzer.
2. Debe obtener una mejor aproximación en las proximidades del punto crítico, especialmente en la determinación de z_c y la densidad de la fase líquida.
3. Las reglas de mezcla no deben utilizar más de 1 parámetro de interacción binaria, y este debe ser independiente de la presión, la temperatura y la composición.
4. Debe poder aplicarse a todos los cálculos de las propiedades termodinámicas de fluidos en el procesamiento de gas natural.

La ecuación es la siguiente:

$$P = \frac{R \cdot T}{V - b} - \frac{a(T)}{V \cdot (V + b) + b \cdot (V - b)} \quad (\text{A.150})$$

En el punto crítico:

$$a(T_c) = 0,45724 \cdot \frac{R^2 \cdot T_c^2}{P_c}; \quad b(T_c) = 0,07780 \cdot \frac{R \cdot T_c}{P_c}; \quad z_c = 0,307 \quad (\text{A.151})$$

Para otras temperaturas se corrige el parámetro $a(T)$ mediante la siguiente expresión:

$$a(T) = a(T_c) \cdot \alpha(T_r, \omega) \quad (\text{A.152})$$

Donde $\alpha(T_r, \omega)$ es una función obtenida mediante el ajuste de datos experimentales de la presión de vapor con una cota superior o igual al punto crítico, obteniendo:

$$\alpha(T_r, \omega) = [1 + (0,37464 + 1,5422 \cdot \omega - 0,26992 \cdot \omega^2) \cdot (1 - T_r^{0,5})]^2 \quad (\text{A.153})$$

Esta expresión puede expresarse en términos del factor de compresión mediante la siguiente ecuación polinómica:

$$z^3 - (1 - B) \cdot z^2 + (A - 3 \cdot B^2 - 2 \cdot B) \cdot z - (A \cdot B - B^2 - B^3) = 0 \quad (\text{A.154})$$

Donde,

$$A = a \cdot \alpha \frac{P}{R \cdot T} = 0,45724 \cdot \frac{\alpha \cdot P_r}{T_r^2}; \quad B = \frac{b \cdot P}{R \cdot T} = 0,07780 \cdot \frac{P_r}{T_r^2} \quad (\text{A.155})$$

Mediante este modelo se han estimado todas aquellas propiedades termodinámicas necesarias para el diseño del sistema.

Para el cálculo de la entalpía de reacción se precisa la estimación del calor específico del etanol, el acetaldehído y el hidrógeno a 558,15 K, la siguiente tabla recoge los valores estimados.

Tabla A4. 5 Calores específicos de las especies que intervienen en la reacción

Compuesto	c_p [J/(mol·K)]
Etanol	102,704
Acetaldehído	81,702
Hidrógeno	29,485

A partir de los valores de los calores específicos de los compuestos se puede determinar el Δc_p mediante la *ecuación A.149*.

$$\Delta c_p = -102,704 + 81,702 + 29,485 = 8,483 \frac{J}{mol \cdot K}$$

A partir del valor de Δc_p y mediante la *ecuación A.112*, se puede obtener la entalpía de reacción a la temperatura óptima de operación (558,15 K).

$$\Delta H_r^0 = 68.750 + 8,483 \cdot (558,15 - 298,15) = 70.955,684 \frac{J}{mol}$$

A partir del valor de la entalpía de reacción, teniendo en cuenta que el alimento es etanol puro ($\theta_j = 1$) y aplicando la *ecuación A.114*, se calcula el valor del parámetro J.

$$J = \frac{-70.955,684}{102,704} = -690,876 \text{ K}$$

Una vez definido el parámetro J, se calcula el coeficiente global de transmisión de calor del fluido intercambiador y el lecho. Para ello se emplean las expresiones obtenidas por Dixon et al. [17] y Peters et al. [24].

Previo al cálculo, es necesario determinar la conductividad térmica del etanol a 558,15 K y la conductividad térmica de la cromita de cobre, para ello se ha empleado el modelo de Peng-Robinson en el caso del etanol, y recursos bibliográficos en el caso de la cromita de cobre. Los valores se muestran en la *tabla A4. 6*.

Tabla A4. 6 Conductividades térmicas

Compuesto	k (W/m·K)
Etanol	0,0468
Cromita de cobre	1,8288

Es necesario determinar el coeficiente individual de transmisión de calor a través de la película de líquido DOWTHERM-A que va condensando. La bibliografía recomienda emplear valores de entre 1.000 y 10.000 W/m²·K. Se opta por coger un valor intermedio de 5.000 W/m²·K. El DOWTHERM-A en fase vapor, condensa porque se pone en contacto con una superficie fría, los tubos del reactor, en consecuencia, el vapor cede su calor latente a la superficie de los tubos y condensa, manteniendo la temperatura constante. A este fenómeno se le conoce como condensación superficial.

En la *tabla A4. 7* se muestran los valores de los parámetros característicos del sistema empleados para el cálculo. La densidad, calor específico y viscosidad se han determinado a partir de las relaciones obtenidas en el *apartado 4.2.1* del documento Memoria. Las *ecuaciones A.156, A.158, A.159 y A.160* muestran cómo se obtienen los valores de $Q_{v, etanol, 0, total}$, $Q_{v, etanol, 0, tubo}$, $m_{etanol, 0, tubo}$ y $G_{etanol, 0, tubo}$.

$$Q_{v, etanol, 0, total} = \frac{F_{etanol, 0, total} \cdot PM}{1000 \cdot \rho_{etanol (558,15 K)}} \quad (A.156)$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D_{tubo}^2 \quad (A.157)$$

$$Q_{v, etanol, 0, tubo} = \frac{Q_{v, etanol, 0, total}}{N^{\circ} \text{ de tubos}} \quad (A.158)$$

$$m_{etanol, 0, tubo} = Q_{v, etanol, 0, tubo} \cdot \rho_{etanol (558,15 K)} \quad (A.159)$$

$$G_{etanol, 0, tubo} = \frac{m_{etanol, 0, tubo}}{S} \quad (A.160)$$

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empaquetado

Tabla A4. 7 Parámetros característicos del sistema empleados para el cálculo

Parámetro	Valor	Uds.
F _{etanol, 0, total}	36	mol/s
PM _{etanol}	46,07	g/mol
P ₀	2	atm
T ₀	558,15	K
ρ _{etanol} (558,15 K)	2,013	kg/m ³
c _{p,etanol} (558,15 K)	2.229,375	J/kg·K
μ _{etanol} (558,15 K)	1,594·10 ⁻⁵	Pa·s
Q _{v, etanol, 0, total}	0,824	m ³ /s
N _t	200	-
F _{etanol, 0, tubo}	0,18	mol/s·tubo
Q _{v,etanol, 0, tubo}	4,119·10 ⁻³	m ³ /s·tubo
m _{etanol, 0, tubo}	8,292·10 ⁻³	kg/ s·tubo
D _{tubo}	0,06	m
S	0,003	m ²
espesor	0,01	m
D _{externo}	0,08	m
G _{etanol, 0, tubo}	2,933	kg/ s·tubo· m ²
d _p	0,005	m
ε _{lecho}	0,5	m ³ poro/ m ³ totales
1- ε _{lecho}	0,5	m ³ catalizador/ m ³ totales
h _{DOWTHERM-A}	5.000	W/m ² ·K

En la literatura [17] se define la siguiente expresión:

$$\frac{k_{rs}}{k_{etanol}} = \sqrt{(1 - \varepsilon)} \cdot \left(\frac{k_{es}^0}{k_{etanol}} \right) \quad (A.161)$$

Donde $\frac{k_{es}^0}{k_{etanol}}$ se define como:

$$\frac{k_{es}^0}{k_{et}} = \frac{2}{\left(1 - \frac{k_{et} \cdot B}{k_{cat}}\right)} \cdot \left[\frac{\left(1 - \frac{k_{et}}{k_{cat}}\right) \cdot B}{\left(1 - \frac{k_{et} \cdot B}{k_{cat}}\right)^2} \cdot \ln \left| \frac{k_{cat}}{k_{et} \cdot B} \right| - \frac{B + 1}{2} - \frac{B - 1}{\left(1 - \frac{k_{et} \cdot B}{k_{cat}}\right)} \right] \quad (A.162)$$

Donde B se define como:

$$B = 1,25 \cdot \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right)^{\frac{10}{9}} \quad (\text{A.163})$$

A partir de la porosidad, se obtiene el valor de B:

$$B = 1,25 \cdot \left(\frac{1 - 0,5}{0,5} \right)^{\frac{10}{9}} = 1,25$$

, sustituyendo el valor de B en la *ecuación A.162* junto con las conductividades térmicas del etanol y la cromita de cobre, se obtiene la relación $\frac{k_{es}^0}{k_{etanol}}$.

$$\begin{aligned} \frac{k_{es}^0}{k_{et}} &= \frac{2}{\left(1 - \frac{0,0468 \cdot 1,25}{1,8288}\right)} \\ &\cdot \left[\frac{\left(1 - \frac{0,0468}{1,8288}\right) \cdot 1,25}{\left(1 - \frac{0,0468 \cdot 1,25}{1,8288}\right)^2} \cdot \ln \left| \frac{1,8288}{0,0468 \cdot 1,25} \right| - \frac{1,25 + 1}{2} \right. \\ &\left. - \frac{1,25 - 1}{\left(1 - \frac{0,0468 \cdot 1,25}{1,8288}\right)} \right] = 6,3860 \end{aligned}$$

Peters et al. [24] definen la siguiente expresión para calcular el número de Peclet para la transmisión de calor radial.

$$Pe_h = 8 \cdot \left(2 - \left(1 - 2 \cdot \frac{d_p}{d_{tubo}} \right)^2 \right) \cdot \frac{d_p}{X_f} \quad (\text{A.164})$$

Para el caso de esferas, el cociente $\frac{d_p}{X_f} = 1,15$. Sustituyendo en la *ecuación A.164* se tiene que:

$$Pe_h = 9,2 \cdot \left(2 - \left(1 - 2 \cdot \frac{d_p}{d_{tubo}} \right)^2 \right) \quad (\text{A.165})$$

, sustituyendo los valores de diámetro de partícula y diámetro de tubo, se obtiene Pe_h .

$$Pe_h = 9,2 \cdot \left(2 - \left(1 - 2 \cdot \frac{0,005}{0,06} \right)^2 \right) = 12,01$$

Peters et al. [24] recogen la siguiente expresión:

$$\frac{k_e}{k_{etanol}} = \frac{k_{es}^0}{k_{et}} + \frac{Re_p \cdot Pr}{Pe_h} \quad (A.166)$$

, definiendo Re_p como:

$$Re_p = \frac{G_{etanol,0} \cdot d_p}{\mu_{etanol, 558,15 K}} \quad (A.167)$$

, definiendo Pr como:

$$Pr = \frac{c_{p-etanol, 558,15 K} \cdot \mu_{etanol, 558,15 K}}{k_{etanol}} \quad (A.168)$$

, sustituyendo en las ecuaciones A.167 y A.168 se obtiene:

$$Re_p = \frac{G_{etanol,0} \cdot d_p}{\mu_{etanol, 558,15 K}} = \frac{2,9328 \cdot 0,005}{1,5935 \cdot 10^{-5}} = 920,23$$

$$Pr = \frac{c_{p-etanol, 558,15 K} \cdot \mu_{etanol, 558,15 K}}{k_{etanol}} = \frac{2229,3747 \cdot 1,5935 \cdot 10^{-5}}{0,0468} = 0,76$$

A partir de Re_p , Pr , Pe_h y $\frac{k_{es}^0}{k_{etanol}}$, se puede determinar la relación $\frac{k_e}{k_{etanol}}$ mediante la ecuación A.166.

$$\frac{k_e}{k_{etanol}} = 6,3860 + \frac{920,23 \cdot 0,76}{12,01} = 64,5188$$

Multiplicando el valor obtenido por la conductividad térmica del etanol, se obtiene k_e :

$$k_e = 64,5188 \cdot 0,0468 = 3,0208 \frac{W}{m \cdot K}$$

Peters et al. [24] definieron la siguiente expresión, que relaciona el coeficiente individual de transmisión de calor del lecho con k_e , el radio del tubo y un parámetro β adimensional que representa la dependencia del lecho con la temperatura.

Para el caso de estudio, se fija $\beta = 4$.

$$h_{lecho} = \beta \cdot \frac{k_e}{R} \quad (A.169)$$

Sustituyendo en la expresión anterior, se obtiene el coeficiente individual de transmisión de calor del lecho.

$$h_{lecho} = 4 \cdot \frac{3,0208}{\frac{0,06}{2}} = 402,7693 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Una vez determinado el coeficiente individual de transmisión de calor del lecho, se determina el coeficiente individual de transmisión de calor de la pared. Para ello, se calcula el número de Nusselt de la pared mediante la siguiente expresión obtenida por Peters et al. [24].

$$Nu_w = 1,94 \cdot Re_p^{0,5} \cdot Pr^{1/3} \quad (A.170)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación A.170, se calcula Nu_w .

$$Nu_w = 1,94 \cdot 920,23^{0,5} \cdot 0,76^{1/3} = 53,68$$

Teniendo en cuenta que el número de Nusselt se define de forma genérica como:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad (A.171)$$

, se obtiene el coeficiente individual de transmisión de calor de la pared.

$$h_w = \frac{Nu_w \cdot k_{etanol}}{d_p} \quad (A.172)$$

, sustituyendo los valores,

$$h_w = \frac{53,68 \cdot 0,0468}{0,005} = 502,6286 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Una vez determinados los coeficientes individuales de transmisión de calor del lecho y de la pared, mediante la siguiente expresión, deducida por Peters et al. [24], se obtiene el coeficiente global de transmisión de calor, sin tener en cuenta el vapor que condensa en la superficie de los tubos.

$$\frac{1}{h_0} = \frac{1}{h_{lecho}} + \frac{1}{h_w} \quad (A.173)$$

, sustituyendo los valores,

$$\frac{1}{h_0} = \frac{1}{402,7693} + \frac{1}{502,6286} = 0,0045 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

, invirtiéndolo:

$$h_0 = 223,5960 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

A partir de la siguiente expresión se puede determinar el coeficiente global de transmisión de calor del sistema completo:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{e}{k_{acero}} \cdot \frac{D_0}{D_{ml}} + \frac{1}{h_{Dowtherm-A}} \quad (A.174)$$

, sustituyendo los valores,

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{223,5960} + \frac{0,01}{52} \cdot \frac{0,08}{0,0695} + \frac{1}{5000} = 0,0049 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

, invirtiéndolo:

$$U_0 = 204,347 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

4.7 Ajuste de Unidades

Determinados los parámetros, se determina el valor de las constantes ξ , λ y δ .

$$\xi = \frac{F_{k0}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_B}$$

Teniendo en cuenta que la ecuación de velocidad viene referida como mol etanol/kg catalizador·h, se refiere el caudal molar como mol etanol/hora·tubo.

$$\xi \equiv \frac{\frac{\text{mol}}{\text{h}}}{\text{m}^2 \cdot \frac{\text{kg cat.}}{\text{m}^3}} \equiv \frac{\text{mol} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{kg cat.}}$$

Ampliándolo al balance de materia:

$$\frac{d\ell}{dX} \equiv m \equiv \frac{\text{mol} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{kg cat.}} \cdot \frac{\text{h} \cdot \text{kg cat.}}{\text{mol}} \equiv m \rightarrow \text{CORRECTO}$$

, así pues, se define el valor de ξ :

$$\xi = \frac{0,18 \cdot 3600}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,05^2 \cdot 1075} = 213,194 \frac{\text{mol} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{kg cat.}}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot U}{\sum_{j=1}^S \theta_j \cdot \bar{c}_{pj} \cdot D \cdot \rho_B}$$

Teniendo en cuenta que la ecuación de velocidad viene referida como mol etanol/kg catalizador·h, se refiere el coeficiente global de transmisión de calor como J/h·m²·K.

$$\lambda \equiv \frac{\frac{\text{J}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}}{\frac{\text{J}}{\text{kg etanol} \cdot \text{K}} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{kg cat.}}{\text{m}^3}} \equiv \frac{\text{kg etanol}}{\text{h} \cdot \text{kg cat.}}$$

Ampliándolo al balance de energía:

$$\frac{dT}{dX} \equiv K \equiv K + \frac{\text{kg etanol}}{\text{h} \cdot \text{kg cat.}} \cdot K \cdot \frac{\text{h} \cdot \text{kg cat.}}{\text{mol}}$$

Es necesario dividir por el peso molecular del etanol para adecuar las unidades.

$$\lambda \equiv \frac{\text{kg etanol}}{\text{h} \cdot \text{kg cat.}} \cdot \frac{1}{46,07} \cdot \frac{\text{mol}}{\text{g etanol}} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \equiv \frac{\text{mol}}{\text{h} \cdot \text{kg cat.}}$$

$$\frac{dT}{dX} \equiv K \equiv K + \frac{\text{mol}}{h \cdot \text{kg cat.}} \cdot K \cdot \frac{h \cdot \text{kg cat.}}{\text{mol}} \equiv K \rightarrow \text{CORRECTO}$$

, así pues, se define el valor de λ :

$$\lambda = \frac{4 \cdot 204,3466 \cdot 3600 \cdot 1000}{2.229,375 \cdot 0,06 \cdot 1075 \cdot 46,07} = 444,206 \frac{\text{mol}}{h \cdot \text{kg cat.}}$$

$$\delta = \frac{G_{k0}}{\rho_{\text{etanol}} \cdot d_p} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \left(\frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)}{d_p} + 1,75 \cdot G_{k0} \right) \cdot \frac{P_0}{T_0} \cdot \xi$$

$$\begin{aligned} \delta &\equiv \frac{\frac{\text{kg etanol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{\frac{\text{kg etanol}}{\text{m}^3} \cdot \text{m}} \cdot \left(\frac{\frac{\text{kg etanol}}{\text{m} \cdot \text{s}}}{\text{m}} + \frac{\text{kg etanol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right) \cdot \frac{\text{atm}}{\text{K}} \cdot \frac{\text{mol} \cdot \text{m}}{h \cdot \text{kg cat.}} \\ &\equiv \frac{\text{kg etanol}}{\text{m} \cdot \text{s}} \cdot \frac{\text{atm}}{\text{K}} \cdot \frac{\text{mol}}{h \cdot \text{kg cat.}} \end{aligned}$$

Ampliándolo al balance de pérdida de carga:

$$\frac{dP}{d\ell} \equiv \frac{\text{atm}}{\text{m}} \equiv \frac{\text{kg etanol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot \frac{\text{atm}}{\text{K}} \cdot \frac{\text{K}}{\text{atm}} \cdot \frac{\text{mol}}{h \cdot \text{kg cat.}} \cdot \frac{h \cdot \text{kg cat.}}{\text{mol}}$$

Teniendo en cuenta que 1 Pa = 1 kg/m·s,

$$\frac{dP}{d\ell} \equiv \frac{\text{atm}}{\text{m}} \equiv \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{101325 \text{ Pa}} \equiv \frac{\text{atm}}{\text{m}} \rightarrow \text{CORRECTO}$$

, así pues, se define el valor de δ :

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{2,933}{2,013 \cdot 0,005} \cdot \frac{0,5}{0,5} \cdot \left(\frac{150 \cdot 0,5 \cdot 1,594 \cdot 10^{-5}}{0,005} + 1,75 \cdot 2,933 \right) \cdot \frac{2}{558,15} \cdot \frac{213,194}{101.325} \\ &= 0,0472 \frac{\text{kg etanol}}{\text{m} \cdot \text{s}} \cdot \frac{\text{atm}}{\text{K}} \cdot \frac{\text{mol}}{h \cdot \text{kg cat.}} \end{aligned}$$

En la siguiente tabla se recogen los valores de ξ , λ y δ con sus respectivas unidades, que se emplearán para la resolución simultánea de las ecuaciones A.95, A.136 y A.146.

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empaquetado

Tabla A4. 8 Valor de las constantes

Constante	Valor	Uds.
ξ	213,194	$\frac{\text{mol}\cdot\text{m}}{\text{h}\cdot\text{kg cat.}}$
λ	444,206	$\frac{\text{mol}}{\text{h}\cdot\text{kg cat.}}$
δ	0,0472	$\frac{\text{kg etanol}}{\text{m}\cdot\text{s}} \cdot \frac{\text{atm}}{\text{K}} \cdot \frac{\text{mol}}{\text{h}\cdot\text{kg cat.}}$

4.8 Resolución Matchad 4.0 Prime

Para resolver las ecuaciones de forma simultánea se ha empleado el programa PTC Mathcad 4.0 Prime. En la *figura A4. 5* se muestran los comandos empleados.

$$l0:=0 \quad T0:=558.15 \quad P0:=2 \quad N:=100 \quad K0:=\begin{bmatrix} l0 \\ T0 \\ P0 \end{bmatrix} \quad K:=\begin{bmatrix} L \\ T \\ P \end{bmatrix}$$

$$D1(X,K) := \left[\begin{array}{l} 213.1936 \cdot \frac{\left(1 + e^{-1.175 + \frac{1166.6}{K_2}} \cdot K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} + e^{1.057 - \frac{690.2}{K_2}} \cdot K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} \right)^2}{e^{17.9 - \frac{5810.5}{K_2}} \cdot \left(K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} - K_3^2 \cdot \frac{\left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{11.82 - \frac{6189.1}{K_2}} \right)} \\ -690.876 + 444.2057 \cdot (650 - K_2) \cdot \frac{\left(1 + e^{-1.175 + \frac{1166.6}{K_2}} \cdot K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} + e^{1.057 - \frac{690.2}{K_2}} \cdot K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} \right)^2}{e^{17.9 - \frac{5810.5}{K_2}} \cdot \left(K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} - K_3^2 \cdot \frac{\left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{11.82 - \frac{6189.1}{K_2}} \right)} \\ -0.0471989 \cdot \frac{K_2}{K_3} \cdot (1+X) \cdot \frac{\left(1 + e^{-1.175 + \frac{1166.6}{K_2}} \cdot K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} + e^{1.057 - \frac{690.2}{K_2}} \cdot K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} \right)^2}{e^{17.9 - \frac{5810.5}{K_2}} \cdot \left(K_3 \cdot \frac{1-X}{1+X} - K_3^2 \cdot \frac{\left(\frac{X}{1+X}\right)^2}{11.82 - \frac{6189.1}{K_2}} \right)} \end{array} \right]$$

$$Z1 := \text{AdamsBDF}(K0, 0, 0.45, N, D1)$$

Figura A4. 5 Resolución con Mathcad 4.0 Prime

4.9 Perfiles

A continuación, se representan los distintos perfiles derivados de la integración de las ecuaciones representativas del proceso.

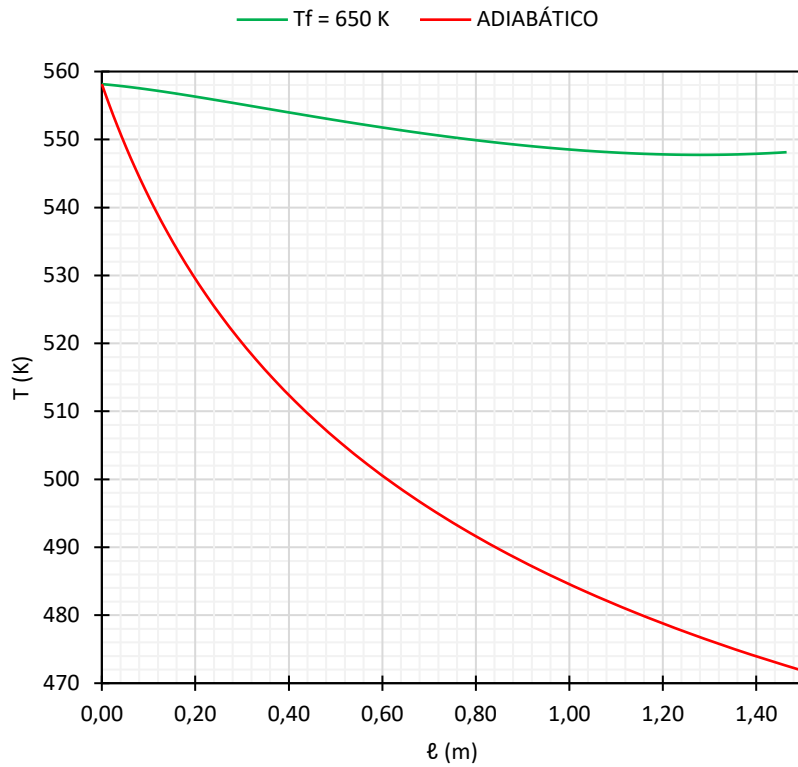


Figura A4. 6 Variación de la temperatura con la longitud

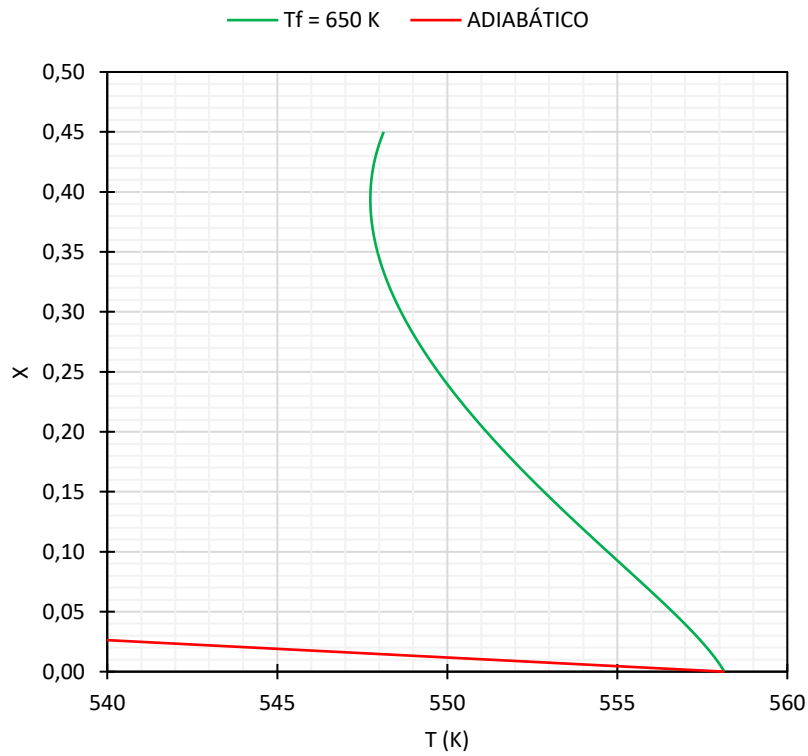


Figura A4. 7 Variación del grado de conversión con la temperatura

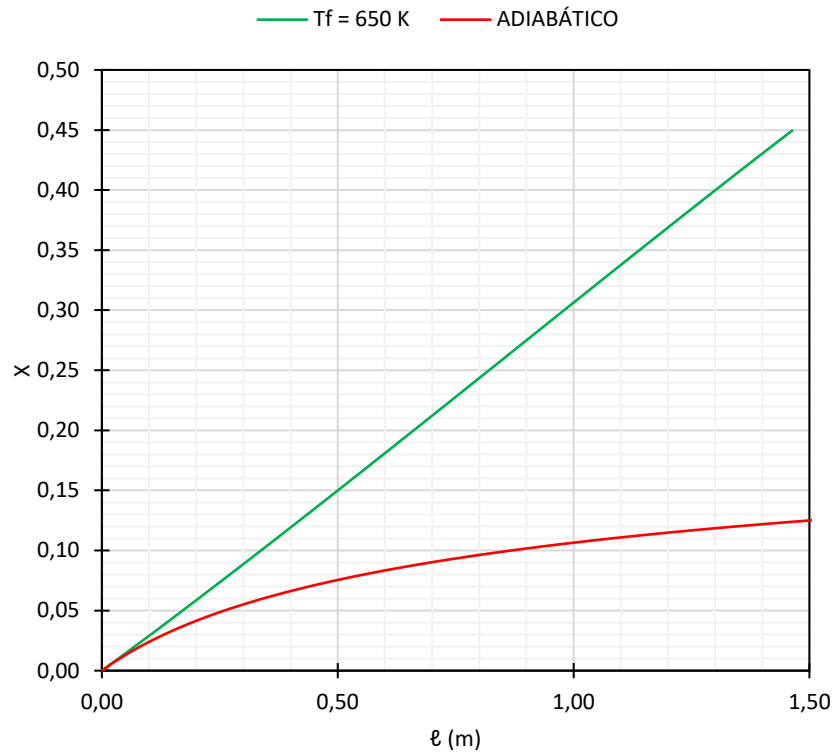


Figura A4. 8 Variación del grado de conversión con la longitud

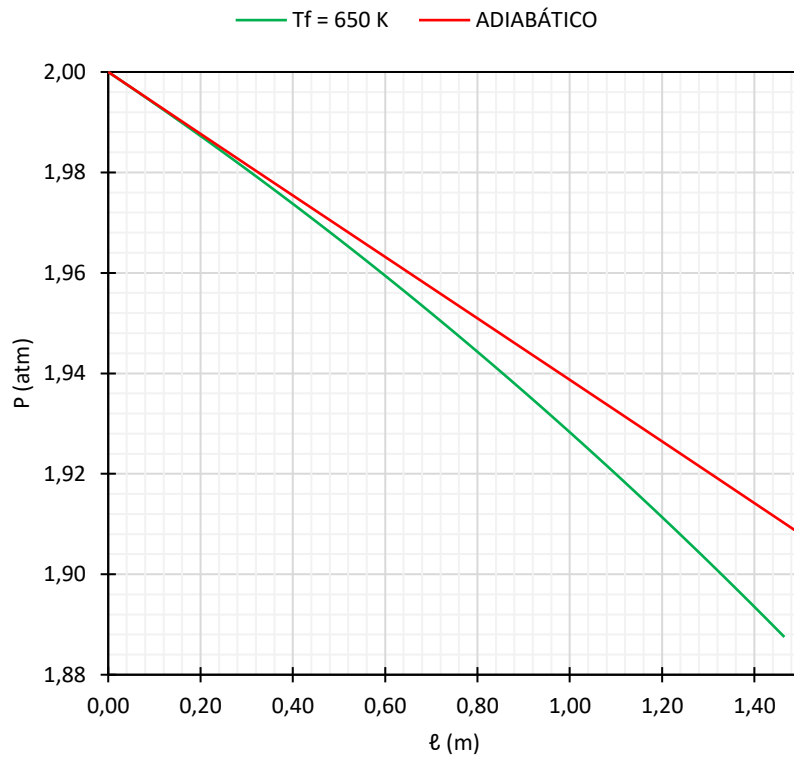


Figura A4. 9 Variación de la presión con la longitud

La integración se ha llevado a cabo para valores del grado de conversión entre 0 y 0,45 por los motivos anteriormente mencionados. Puede apreciarse que la temperatura oscila en valores permitidos por la bibliografía y la pérdida de carga es razonable.

Se ha decidido tomar un valor de longitud del reactor de 1,45 m, alcanzando una conversión de 0,45.

4.10 Geometría del Reactor

La geometría constructiva del reactor, es decir, el diámetro del haz de tubos y el diámetro de la coraza, se determinan siguiendo el método de Kern, únicamente empleando el *apartado 3.8*.

Definido el número de tubos del reactor, el diámetro externo de los tubos y teniendo en cuenta que el fluido únicamente pasa una vez por los tubos, se determinan los valores de K_1 y n_1 mediante la *tabla A3. 10*.

$$K_1 = 0,319 \quad n_1 = 2,142$$

A partir de los valores de K_1 , n_1 y D_{ot} , mediante la *ecuación A.14*, se determina el diámetro del haz de tubos.

$$D_{hr} = 0,08 \cdot \left(\frac{200}{0,319} \right)^{\frac{1}{2,142}} = 1,618 \text{ m}$$

A partir del diámetro del haz y teniendo en cuenta que se emplea una coraza tipo E con cabezal flotante interno sin dispositivo de apoyo, se obtiene la diferencia entre el diámetro interno de la coraza y el diámetro del haz, esta diferencia equivale a 0,099 m. A partir del valor de la diferencia y conociendo el diámetro del haz, se obtiene el diámetro interno de la coraza.

$$D_{icr} = 1,717 \text{ m}$$

Para el caso que ocupa, el diámetro interno de la coraza, equivale al diámetro del reactor.

En la *tabla A4. 9* se recogen las principales características del reactor.

Tabla A4. 9 Principales características del reactor

Característica	Valor	Uds.
N_t	200	-
D_{tubos}	0,060	m
espesor	0,010	m
D_{0t}	0,080	m
A_0	72,89	m ²
D_{hr}	1,618	m
D_{icr}	1,717	m
d_p	0,005	m
ϵ_{lecho}	0,5	m ³ poro/m ³ totales
T_f	650	K
T_0	558,15	K
P_0	2	atm
ℓ	1,450	m
X	0,45	-
T	548,07	K
P	1,89	atm

4.11 Corrientes de Salida

Una vez determinada la conversión que se alcanza en el reactor, se determinan los caudales molares de salida de cada uno de los componentes, teniendo en cuenta la *ecuación A.84*. A partir del peso molecular de cada una de las especies, se determinan los caudales máxicos de salida.

Tabla A4. 10 Caudales de salida

CAUDALES DE SALIDA						
Etanol	19,96	mol/s	0,92	kg/s	3.309,78	kg/h
Acetaldehído	16,03	mol/s	0,71	kg/s	2.542,81	kg/h
Hidrógeno	16,03	mol/s	0,03	kg/s	116,36	kg/h
TOTAL	52,02	mol/s	1,66	kg/s	5.968,95	kg/h

5 ANEJO 5. NECESIDADES DE CATALIZADOR

La literatura [26] recomienda la sustitución del catalizador 1 vez al año para prevenir posibles efectos de desactivación que pueden dar lugar a reacciones secundarias no deseadas, como se muestra en la *figura A4. 1*.

Para calcular las necesidades de catalizador se precisa la densidad del lecho de catalizador. Multiplicando la densidad del lecho de catalizador por el volumen del reactor se obtienen los kg de catalizador necesarios.

$$V_{reactor} = N_{tubos} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \ell \quad (A.175)$$

$$V_{reactor} = 200 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,06^2 \cdot 1,45 = 0,82 \text{ m}^3$$

$$M_{CuCr_2O_4} = V_{reactor} \cdot \rho_B \quad (A.176)$$

$$M_{CuCr_2O_4} = 0,82 \cdot 1.075 = 881,54 \text{ kg de } CuCr_2O_4$$

Teniendo en cuenta que el catalizador se debe sustituir una vez al año, las necesidades de catalizador son:

$$m_{CuCr_2O_4} = 881,54 \frac{\text{kg de catalizador}}{\text{año}}$$

5.1 Puesta en Marcha

Debido a la inactividad de la planta durante 15 días anuales, se determina el tiempo necesario para que las partículas de catalizador alcancen la temperatura de operación (558,15 K), a partir de la temperatura de apagado, que son 298,15 K. Para ello se emplea la *ecuación A.177*.

$$\frac{dq}{dt} = U_0 \cdot A_0 \cdot (T_{DOWTHERM-A} - T_{CuCr_2O_4}) \quad (A.177)$$

El reactor está relleno de catalizador, pero este no ocupa el 100% del volumen del reactor, de modo que es necesario el cálculo de la masa de aire presente, para ello, se

multiplica el volumen del reactor no ocupado por el catalizador por la densidad media del aire.

$$M_{aire} = V_{reactor} \cdot \varepsilon \cdot \rho_{m,aire} \quad (A.178)$$

La variación de la densidad del aire con la temperatura se obtiene mediante la ecuación A.2, derivada de la ley de los gases ideales.

$$\rho_{aire} = 353,17 \cdot \frac{1}{T} \quad (A.179)$$

Para 298,15 K y 558,15 K la densidad del aire vale 1,185 y 0,633 kg/m³ respectivamente, con un valor medio de 0,909 kg/m³.

$$M_{aire} = 0,82 \cdot 0,5 \cdot 0,909 = 0,373 \text{ kg de aire}$$

La masa de aire es despreciable frente a la masa de catalizador ya que representa menos de un 0,5% de la masa total del sistema.

Teniendo en cuenta la definición de dq ,

$$dq = M_{CuCr_2O_4} \cdot c_{p,CuCr_2O_4} \cdot dT_{CuCr_2O_4} \quad (A.180)$$

, sustituyendo la ecuación A.180 en la ecuación A.177,

$$\frac{U_0 \cdot A_0}{M_{CuCr_2O_4} \cdot c_{p,CuCr_2O_4}} \cdot dt = \frac{dT_{CuCr_2O_4}}{T_{DOWTHERM-A} - T_{CuCr_2O_4}} \quad (A.181)$$

La masa de catalizador se ha determinado en los párrafos anteriores, así como el coeficiente global de transmisión de calor.

En la literatura se ha determinado la capacidad calorífica de la cromita de cobre, fijando su valor en los 1.000 J/kg·K.

A_0 se define como el área externa de los tubos, pues el coeficiente global de transmisión de calor está referido al área externa.

$$A_0 = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ot}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,08^2 = 0,005 \text{ m}^2$$

Sustituyendo los valores en la ecuación A.181:

$$\frac{204,347 \cdot 0,005}{\frac{881,54}{200} \cdot 1000} \cdot dt = \frac{dT_{CuCr_2O_4}}{T_{DOWTHERM-A} - T_{CuCr_2O_4}}$$

$$2,330 \cdot 10^{-4} \cdot dt = \frac{dT_{CuCr_2O_4}}{T_{DOWTHERM-A} - T_{CuCr_2O_4}}$$

, resolviendo la integral:

$$t = -\frac{1}{2,330 \cdot 10^{-4}} \cdot \ln \left| \frac{650 - 558,15}{650 - 298,15} \right| = 5.763,2 \text{ s} = 1,6 \text{ h}$$

La cromita de cobre tardará 1,6 horas en calentarse hasta alcanzar la temperatura de operación.

6 ANEJO 6. NECESIDADES DE DOWTHERM-A

Para determinar el caudal de DOWTHERM-A necesario, hay que aplicar un balance de energía.

$$q = m_{etanol,0,tubo} \cdot c_{p-etanol(558,15 K)} \cdot \Delta T_{etanol} \quad (A.182)$$

Sustituyendo los valores,

$$q = 8,292 \cdot 10^{-3} \cdot 2.229,375 \cdot (558,15 - 548,07) = 186,346 \frac{W}{tubo}$$

, aplicando el balance de energía al DOWTHERM-A que cambia de fase,

$$q = m_{DOWTHERM-A} \cdot \mathcal{L} \quad (A.183)$$

Siendo \mathcal{L} el calor latente de condensación, que varía con la temperatura de acuerdo con la siguiente expresión.

$$\mathcal{L} = -0,00247 \cdot T^3 + 3,21556 \cdot T^2 - 1.813,10786 \cdot T + 721.774,52942 \quad (A.184)$$

Para la temperatura requerida (650 K), el valor del calor latente de condensación es de $\mathcal{L} = 223.504,770$ J/kg.

Despejando de la ecuación A.183, se puede obtener el caudal másico de DOWTHERM-A necesario.

$$m_{DOWTHERM-A} = \frac{q}{\mathcal{L}} \quad (A.185)$$

Sustituyendo los valores:

$$m_{DOWTHERM-A} = \frac{186,346}{223.504,770} = 8,337 \cdot 10^{-4} \frac{kg_{DOWTHERM-A}}{s \cdot tubo}$$

Se ha realizado la asunción de que el fluido condensa sobre cada tubo de forma individual para el cálculo de la velocidad de transmisión de calor, de modo que para obtener el caudal de DOWTHERM-A total, únicamente se debe multiplicar por el número de tubos.

$$m_{DOWTHERM-A,total} = 8,337 \cdot 10^{-4} \cdot 200 = 0,167 \frac{kg_{DOWTHERM-A}}{s}$$

Para determinar el régimen de circulación del fluido que condensa, es necesario definir el parámetro $\Gamma_{DOWTHERM-A}$, que es el caudal de condensado por unidad de longitud.

$$\Gamma_{DOWTHERM-A} = \frac{m_{DOWTHERM-A}}{\ell} \quad (A.186)$$

Sustituyendo los valores:

$$\Gamma_{DOWTHERM-A} = \frac{8,337 \cdot 10^{-4}}{1,45} = 5,750 \cdot 10^{-4} \frac{kg_{DOWTHERM-A}}{s \cdot m}$$

A partir del valor de $\Gamma_{DOWTHERM-A}$, se puede determinar el número de Reynolds del condensado mediante la *ecuación A.187*.

$$Re_{cond.} = 4 \cdot \frac{\Gamma_{DOWTHERM-A}}{\mu_{DOWTHERM-A}} \quad (A.187)$$

La viscosidad del fluido se toma a la temperatura del líquido condensado, según la bibliografía, tiene un valor de $1,4 \cdot 10^{-4}$ Pa·s.

Sustituyendo los valores en la *ecuación A.187*, se obtiene el número de Reynolds del líquido condensado.

$$Re_{cond.} = 4 \cdot \frac{5,750 \cdot 10^{-4}}{1,4 \cdot 10^{-4}} = 16,43$$

El número de Reynolds del líquido condensado es menor de 30, de modo que el régimen de circulación es laminar y libre de ondulaciones, formando una película uniforme.

Para determinar las necesidades de DOWTHERM-A se emplea la *ecuación A.188*, que relaciona la altura de la película de condensado con la posición.

$$\psi = \left(\frac{4 \cdot \mu_{DOWTHERM-A} \cdot k_{DOWTHERM-A} \cdot (T_{sat} - T_{sup}) \cdot \ell}{g \cdot \rho_{DOWTHERM-A} \cdot (\rho_{DOWTHERM-A} - \rho_{VAPOR}) \cdot \mathcal{L}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (A.188)$$

Siendo T_{sat} y T_{sup} las temperaturas de saturación (650 K) y de la superficie del tubo respectivamente.

La bibliografía aporta los siguientes valores:

$\mu_{DOWTHERM-A} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $k_{DOWTHERM-A} = 0,0815 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho_{DOWTHERM-A} = 714,5 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{VAPOR} = 30 \text{ kg/m}^3$ y $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Sustituyendo los valores en la *ecuación A.188*, se obtiene la siguiente expresión:

$$\psi = 8,077 \cdot 10^{-5} \left((650 - T_{sup}) \cdot \ell \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{A.189})$$

Se sustituyen los valores obtenidos de ℓ y T obtenidos de la integración en la expresión anterior y se obtiene el perfil de altura de la película en función de la posición, se muestra en la *figura A6. 1*.

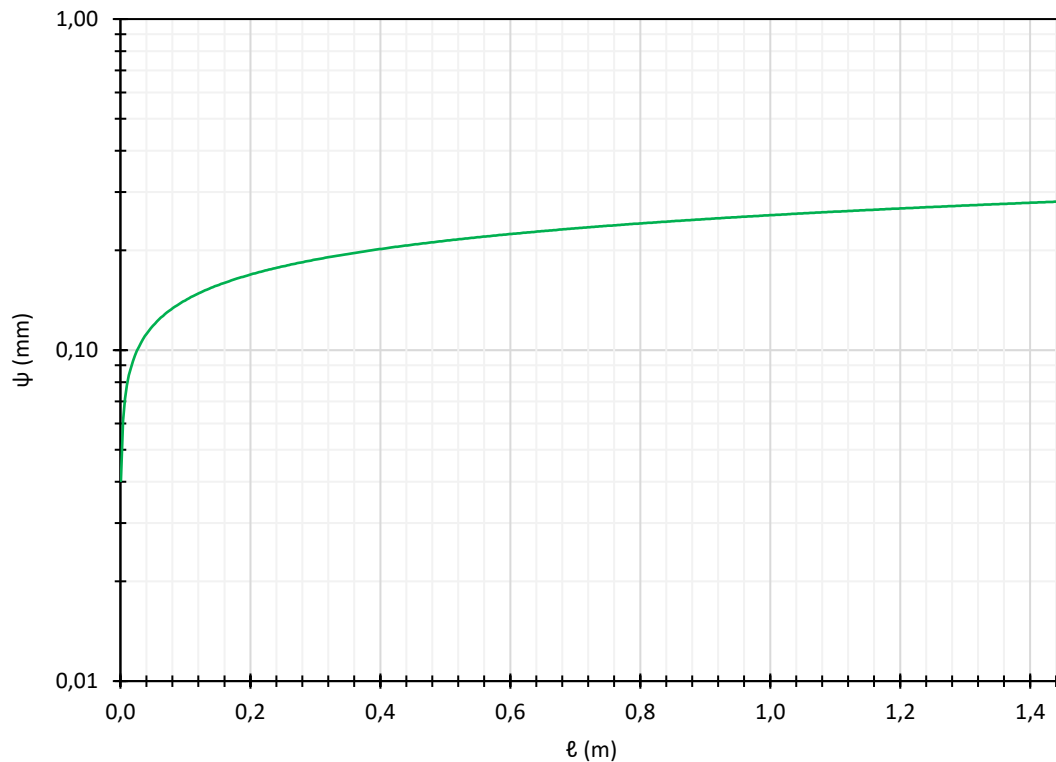


Figura A6. 1 Variación del espesor de la película de condensado con la longitud

A la vista de la figura anterior, se puede considerar un valor medio de la altura de la película de condensado de unos 0,22 mm.

Asumiendo un valor medio constante del espesor de la película de condensado, y que todo el vapor introducido condensa, se puede determinar el volumen de condensado total que hay en el reactor mediante la *ecuación A.190*.

$$V_{cond.} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ot} + 2 \cdot \psi_{medio})^2 - \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ot})^2 \quad (A.190)$$

Sustituyendo los valores,

$$V_{cond.} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,08 + 2 \cdot 0,22 \cdot 10^{-3})^2 - \frac{\pi}{4} \cdot (0,08)^2 = 5,588 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

A partir del caudal másico de condensado y de su densidad, se puede obtener el caudal volumétrico de condensado:

$$Q_{v,DOWTHERM-A,total} = \frac{m_{DOWTHERM-A,total}}{\rho_{DOWTHERM-A}} \quad (A.191)$$

Sustituyendo los valores,

$$Q_{v,DOWTHERM-A,total} = \frac{0,167}{714,5} = 2,334 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

A partir del volumen de condensado y del caudal total, se puede determinar el tiempo de residencia del condensado en el reactor mediante la *ecuación A.192*.

$$\theta = \frac{V_{cond.}}{Q_{v,DOWTHERM-A,total}} \quad (A.192)$$

Sustituyendo los valores,

$$\theta = \frac{5,588 \cdot 10^{-5}}{2,334 \cdot 10^{-4}} = 0,239 \text{ s}$$

El fluido condensado es empleado para enfriar corrientes de la planta, y se recupera.

7 ANEJO 7. DEPÓSITO DE ACETALDEHÍDO

El acetaldehído se almacena en estado líquido a 0°C y 1 atm. Para determinar el volumen del depósito se determina el caudal volumétrico semanal de acetaldehído a partir de la densidad del acetaldehído en estado líquido, que es igual a 788 kg/m³.

$$Q_{v,Acetaldehído} = \frac{0,71 \frac{kg}{s}}{788 \frac{kg}{m^3}} = 8,964 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{v,Acet.,semana} = 8,964 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s} \cdot \frac{3600 s}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 d} \cdot \frac{7 d}{1 semana} = 542,12 \frac{m^3}{semana}$$

De acuerdo con los cálculos, se precisa de un depósito de 542,12 m³ como mínimo, pero se sobredimensiona. Se decide emplear un depósito cuya altura sea igual a su diámetro, de modo que D = h. Fijando un diámetro de 9 m se obtiene un volumen de:

$$V_{necesario} = \frac{\pi}{4} \cdot 9^3 = 572,56 m^3$$

8 ANEJO 8. CONDUCCIONES

A falta de especificaciones en cuanto a espaciado entre equipos, se fija una separación de 5 metros entre cada uno de los equipos.

Para calcular la pérdida de carga en los tramos rectos de la instalación se emplea la *ecuación A.193*, ecuación de Weymouth, válida para velocidades de circulación inferiores a 35 m/s y circulación isoterma [27].

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{4 \cdot f \cdot R \cdot T_1 \cdot L \cdot G^2}{PM \cdot D} \quad (\text{A.193})$$

Donde P_1 se refiere a la presión a la entrada de la conducción y P_2 a la salida de la conducción, f es el factor de fricción, R es la constante de los gases ideales ($R = 8,314$ J/mol·K), T_1 se refiere a la temperatura de entrada a la conducción, L es la longitud de la conducción, G es el gasto másico, PM el peso molecular del gas y D el diámetro interno de la conducción.

La siguiente figura, *figura A8. 1*, muestra el diagrama de flujo representativo del cálculo de las pérdidas de carga en tramos rectos.

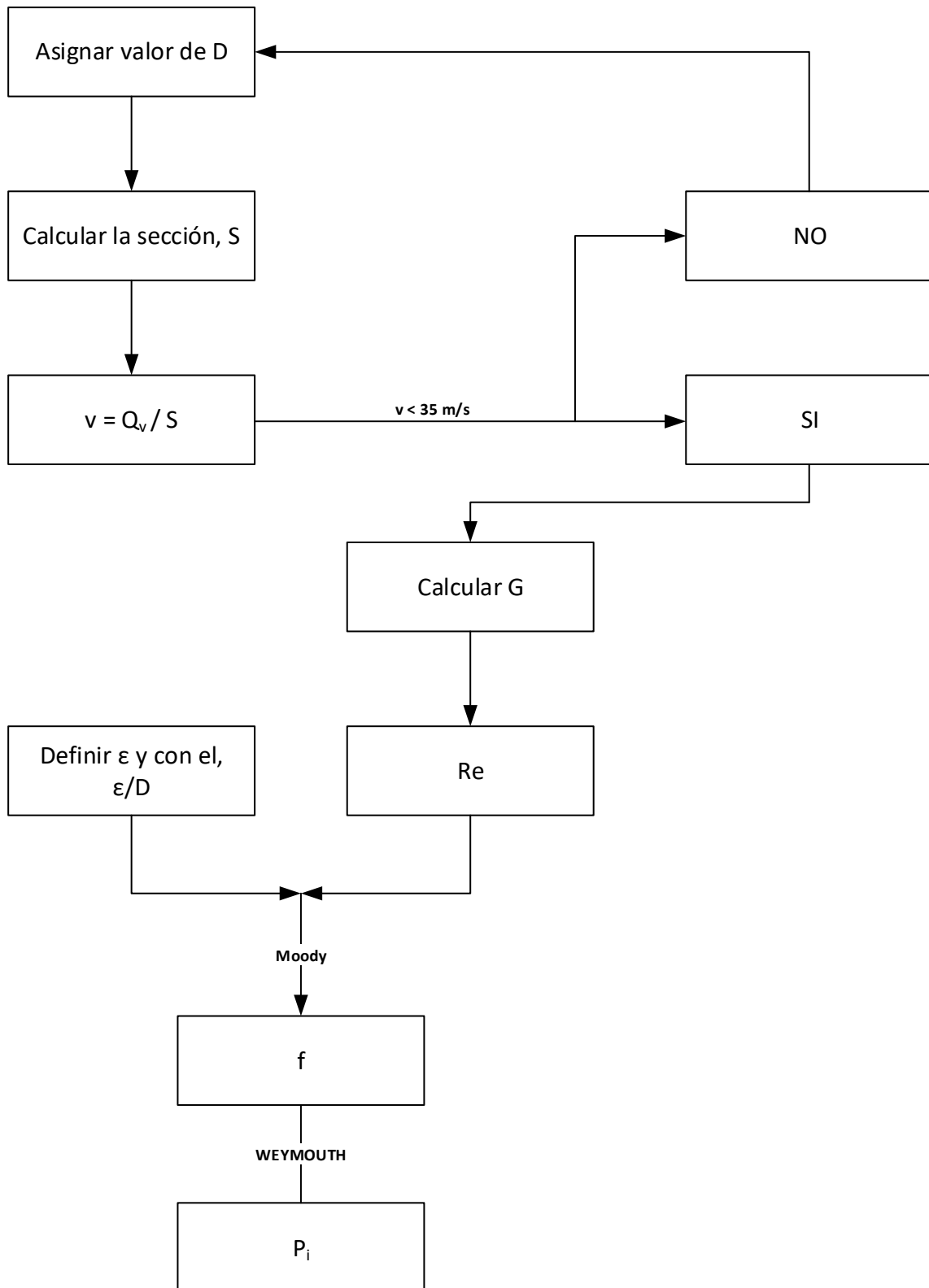


Figura A8. 1 Diagrama de flujo para el diseño de las conducciones

Para determinar la rugosidad relativa de las tuberías se emplea la *figura A8. 2*.

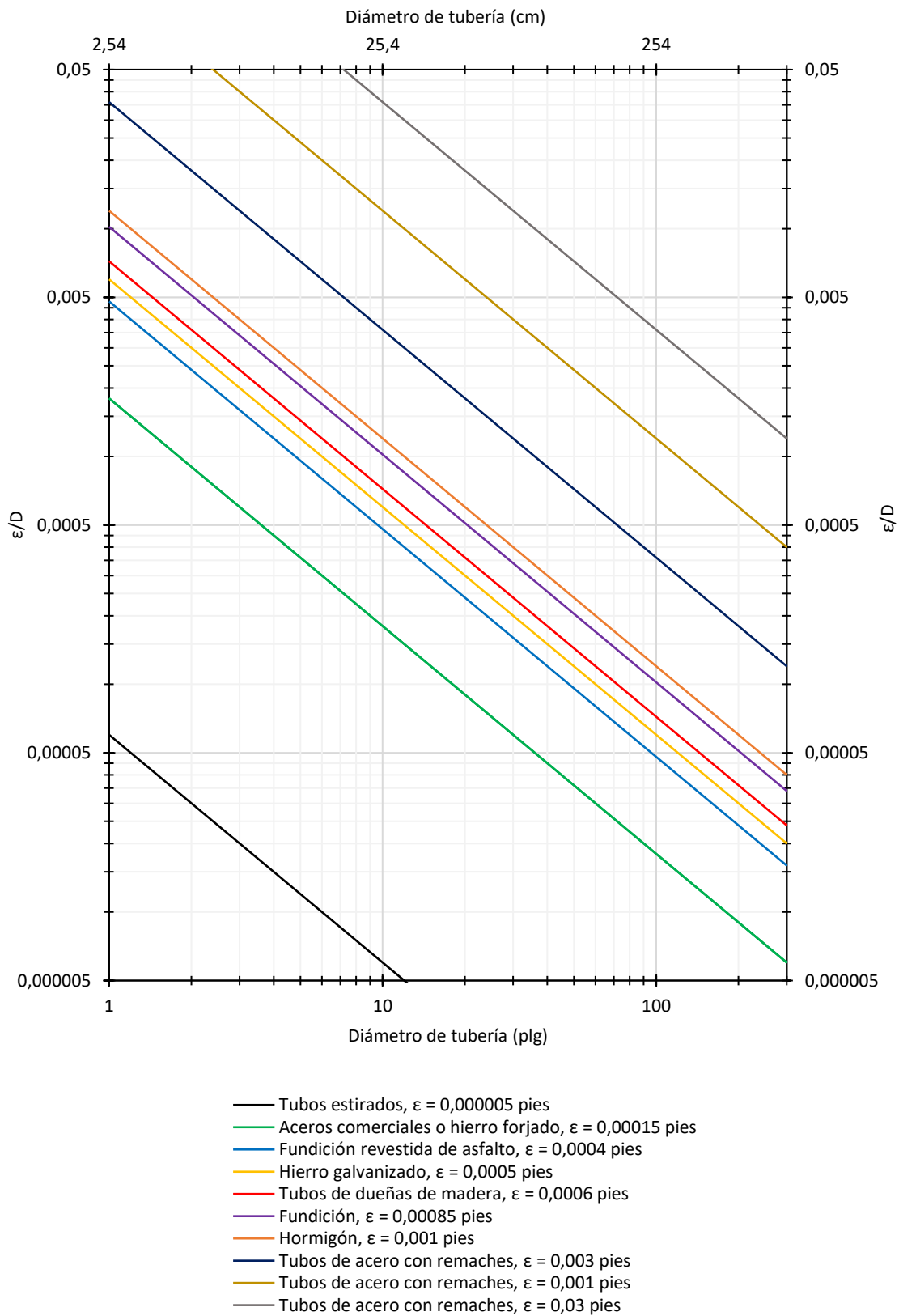


Figura A8. 2 Rugosidades relativas

Una vez determinada la rugosidad relativa mediante la *figura A8. 2*, se determina el factor de fricción f mediante el gráfico de Moody. Para emplear el gráfico de Moody (*figura A8. 3*), se precisa el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

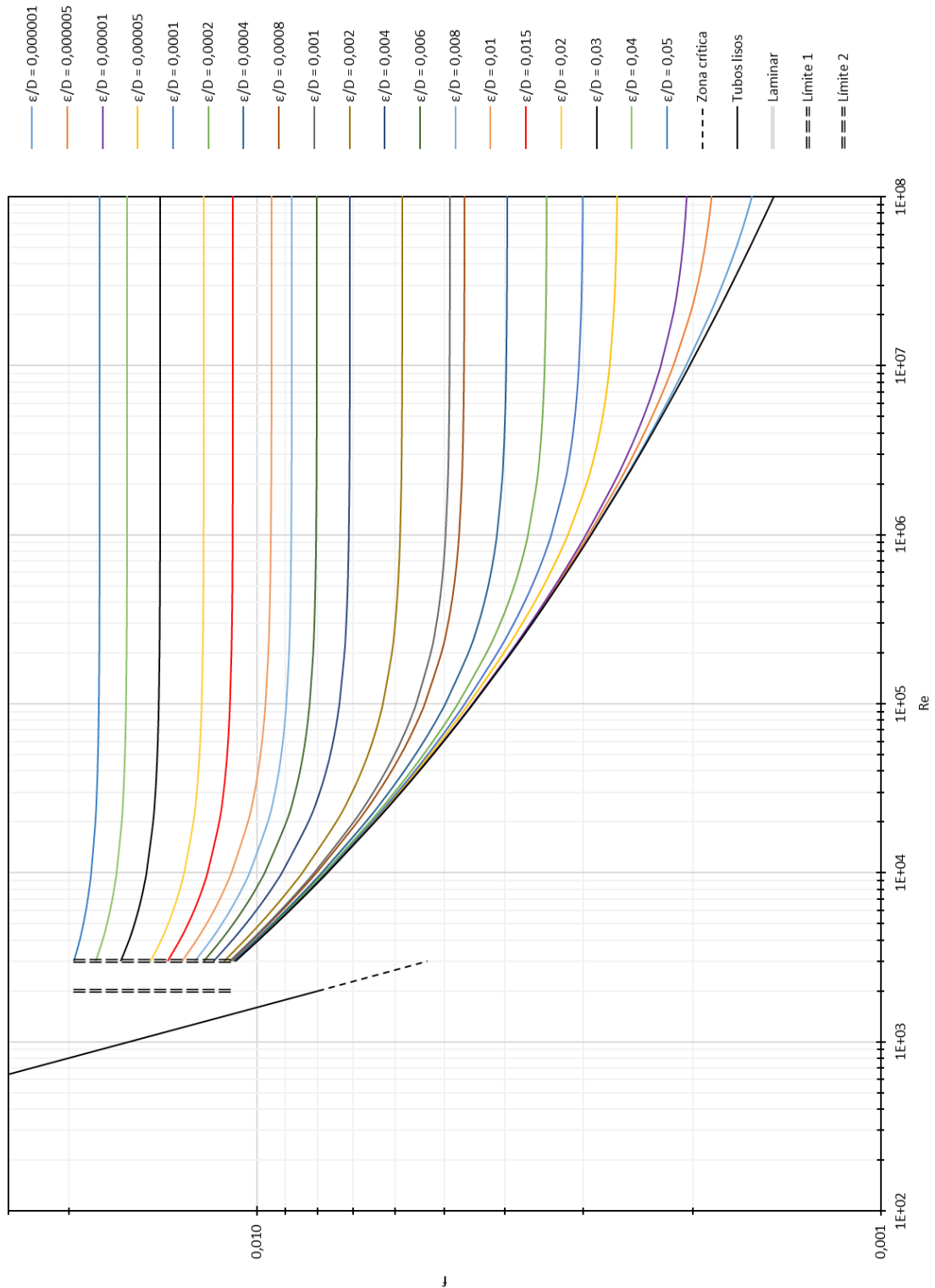


Figura A8. 3 Diagrama de Moody

Mediante la ecuación de Weymouth, *ecuación A.193*, se determina la presión en el punto deseado de la conducción.

Para el cálculo se han referido los tramos de conducción de acuerdo a la numeración establecida en la *figura A2. 1*. Todas las conducciones empleadas serán de acero comercial (acero inoxidable AISI 304 L) con una rugosidad (ϵ) de 0,00015 pies, que equivale a $4,572 \cdot 10^{-5}$ metros.

Las *tablas A8. 1, 2, 3, 4 y 5* muestran las características principales de las conducciones que se van a diseñar. Una vez diseñadas las conducciones que componen el núcleo de la instalación, se diseñará la corriente de recirculación del etanol no reaccionado.

Tabla A8. 1 Parámetros característicos Tramo 3

Tramo 3		
T_{entrada}	363,15	K
F	36	mol/s
PM	46,07	g/mol
m	1,66	kg/s
ρ	2,32	kg/m ³
Q_v	0,72	m ³ /s
L	5	m
R	8,314	J/mol·K
μ (363,15 K)	$1,075 \cdot 10^{-5}$	Pa·s
P_2	1,5	atm
Corriente de etanol puro		

Tabla A8. 2 Parámetros característicos Tramo 9

Tramo 9		
T_{entrada}	558,15	K
F	36	mol/s
PM	46,07	g/mol
m	1,66	kg/s
ρ	2,01	kg/m ³
Q_v	0,82	m ³ /s
L	5	m
R	8,314	J/mol·K
μ (558,15 K)	$1,594 \cdot 10^{-5}$	Pa·s
P_2	2	atm
Corriente de etanol puro		

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empacado

Tabla A8. 3 Parámetros característicos Tramo 13

Tramo 13		
T_{entrada}	548,07	K
PM	44,35	g/mol
m	1,66	kg/s
ρ	1,87	kg/m ³
Q_v	0,89	m ³ /s
L	5	m
R	8,314	J/mol·K
μ (548,07 K)	$1,309 \cdot 10^{-5}$	Pa·s
P_1	1,89	atm
Corriente de salida del reactor		

Tabla A8. 4 Parámetros característicos Tramo 6

Tramo 6		
T_{entrada}	623,15	K
F	250	mol/s
PM	18,02	g/mol
m	4,50	kg/s
ρ	0,35	kg/m ³
Q_v	12,77	m ³ /s
L	5	m
R	8,314	J/mol·K
μ (623,15 K)	$2,234 \cdot 10^{-5}$	Pa·s
P_2	1,64	atm
Corriente de vapor de agua puro		

Tabla A8. 5 Parámetros característicos Tramo 11

Tramo 11		
T_{entrada}	650	K
PM	162	g/mol
m	0,167	kg/s
ρ	30	kg/m ³
Q_v	0,006	m ³ /s
L	5	m
R	8,314	J/mol·K
μ (650 K)	$1,4 \cdot 10^{-4}$	Pa·s
P_2	10	atm
Corriente de DOWTHERM-A en fase vapor		

Las conducciones principales son la 3, la 9, la 6, la 13 y la 11. Para adecuar el diseño a la norma UNE-EN 13480-3, se debe determinar el espesor mínimo de cada conducción, mediante la *ecuación A.194*.

$$e_{min} = \frac{P_c \cdot D_0}{2 \cdot i \cdot z + P_c} \quad (A.194)$$

Donde P_c se refiere a la presión a la que operará la tubería (MPa) que es la presión del fluido multiplicada por un factor de seguridad $n_s = 1,5$, D_0 es el diámetro externo del tubo (mm), i es la tensión de diseño, que se determina mediante la siguiente condición establecida por la norma y z es el coeficiente de unión, que se toma como 0,7 ya que se asume la situación más desfavorable según la norma.

$$i = \min \left[\frac{\text{Límite elástico}}{1,5} \text{ ó } \frac{\text{Límite de fluencia}}{1,5} ; \frac{\text{Resistencia a la tracción}}{2,4} \right]$$

Los valores del límite elástico, límite de fluencia y resistencia a la tracción se encuentran tabulados, tanto el límite elástico como el de fluencia, varían con la temperatura, aunque únicamente se precisa de uno de los dos, para el caso, se escoge el de fluencia. Los valores se recogen en la *tabla A8. 6*.

Tabla A8. 6 Límite de fluencia y resistencia a la tracción

Tramo	T (°C)	L. Fluencia (MPa)	R. Tracción (MPa)
3	90	182	460 Valor común para el acero inoxidable AISI 304 L
9	285	138	
13	274,92	139	
6	350	128	
11	376,85	125,5	

Aplicando la *ecuación A.194* se obtienen los valores de i para los distintos tramos. A partir de las presiones recogidas en las *tablas A8. 1, 2, 3, 4 y 5*, y aplicando el factor de seguridad n_s , se obtiene la presión de operación de cada uno de los tramos. Los resultados se recogen en la *tabla A8. 7*.

Tabla A8. 7 Presiones de servicio

Tramo	3	9	13	6	11
i (MPa)	121,33	92	92,67	85,33	83,67
P_c (MPa)	0,228	0,304	0,287	0,249	1,520

A partir de los distintos diámetros que se muestran en el *Anejo 11* suministrados por el fabricante, se ha evaluado la velocidad en cada uno de los tramos para los distintos diámetros, para ver si se cumple la condición necesaria para aplicar la ecuación de Weymouth. Los valores obtenidos se recogen en la *tabla A8. 8*.

Tabla A8. 8 Velocidades en los distintos tramos

Tramo	3	9	13	6	11
Q_v (m ³ /s)	0,71	0,82	0,89	12,77	0,01
D_i (m)	0,1623	0,2131	0,2131	0,7493	0,0161
S (m ²)	0,0207	0,0357	0,0357	0,4409	0,0002
v (m/s)	34,54	23,09	24,92	28,97	27,30

De entre los distintos espesores se ha seleccionado el mayor de ellos para determinar la velocidad puesto que reducen el diámetro interno, en consecuencia, la sección y pueden aumentar la velocidad (situación más desfavorable). A la vista de las velocidades de la *tabla A8. 8*, se puede afirmar que es posible la aplicación de la ecuación de Weymouth.

A partir de los parámetros determinados en la *tabla A8. 8* y de los valores de D_0 proporcionados por el fabricante, se puede determinar el espesor mínimo a partir de la *ecuación A.194*. Los resultados se muestran en la *tabla A8. 9*.

Tabla A8. 9 Espesores mínimos de los distintos tramos

Tramo	3	9	13	6	11
e_{min} (mm)	0,226	0,516	0,484	1,587	0,273

Una vez definido el espesor mínimo se determina el espesor ordinario (e_{ord}) que tiene en cuenta las tolerancias oportunas en cuanto a corrosión, tolerancia de fabricación y margen de adelgazamiento.

$$e_{ord} = e_{min} + c_0 + c_1 + c_2 \quad (A.195)$$

Donde c_0 es el margen de corrosión, que se fija en 1 mm, c_1 es el valor absoluto de la tolerancia negativa tomado de las normas del material o facilitado por el fabricante. Por ejemplo, si la tolerancia de fabricación es de +0,5/-1 mm, se debería tomar $c_1=1$ mm. En la aplicación de cálculo de tuberías se considera por defecto 1 mm y c_2 es el margen de adelgazamiento para el posible adelgazamiento durante el proceso de fabricación. En el caso de las tuberías rectas es igual a 0.

Sustituyendo los valores en la *ecuación A.195* se obtienen los valores de espesor ordinarios para los distintos tramos, los resultados se muestran en la *tabla A8. 10*.

Tabla A8. 10 Espesores ordinarios de los distintos tramos

Tramo	3	9	13	6	11
e _{ord} (mm)	2,226	2,516	2,484	3,587	2,273

A partir de los valores de espesor ordinario se determina el espesor de las tuberías, seleccionando el espesor inmediatamente superior al ordinario de entre los disponibles en el catálogo. Para los tramos 3, 9 y 13, el espesor es de 3 mm, para el tramo 11 el espesor es de 2,6 mm y para el tramo 6, el espesor es de 6,35 mm. La *tabla A8. 11* muestra los diámetros y espesores de cada uno de los tramos.

Tabla A8. 11 diámetros de los distintos tramos

Tramo	3	9	13	6	11
D ₀ (m)	0,1683	0,2191	0,2191	0,7620	0,0213
e (mm)	3	3	3	6,35	2,6
D _i (m)	0,1623	0,2131	0,2131	0,7493	0,0161

A partir de los valores de la *tabla A8. 11* se analizan los distintos tramos de la instalación.

8.1 Tramo 3

Los parámetros conocidos se muestran en la *tabla A8. 1*. De acuerdo con las conducciones suministradas por el fabricante, se emplea un diámetro interno de 162,3 mm, con una sección de:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot 0,1623^2 = 0,0207 \text{ m}^2$$

, que cumple con la condición de que $v < 35 \text{ m/s}$:

$$v = \frac{0,71}{0,0207} = 34,54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

, y una rugosidad relativa de:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4,572 \cdot 10^{-5}}{0,1623} = 0,00028$$

Se calcula G:

$$G = \frac{1,66}{0,0207} = 80,14 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

Se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{80,14 \cdot 0,1623}{1,075 \cdot 10^{-5}} = 1.210.350$$

Mediante la *figura A8. 3* se determina el factor de fricción f .

$$f = 0,004$$

Reordenado la *ecuación A.193* se puede obtener la expresión que relaciona la presión de entrada a la conducción con los parámetros obtenidos.

$$P_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot f \cdot R \cdot T_1 \cdot L \cdot G^2}{PM \cdot D}} + P_2^2 \quad (A.196)$$

Sustituyendo los valores se obtiene el valor de P_1 :

$$P_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,004 \cdot 8,314 \cdot 363,15 \cdot 5 \cdot 80,14^2}{0,04607 \cdot 0,1623}} + (1,5 \cdot 101.325)^2 = 152.643 Pa$$

$$152.643 Pa \cdot \frac{1 atm}{101.325 Pa} = 1,506 atm$$

La pérdida de carga es de:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 1,506 - 1,5 = 0,006 atm$$

La pérdida de carga en el tramo recto es prácticamente despreciable.

8.2 Tramo 9

Los parámetros conocidos se muestran en la *tabla A8. 2*. De acuerdo con las conducciones suministradas por el fabricante, se emplea un diámetro interno de 213,1 mm, con una sección de:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot 0,2131^2 = 0,0357 \text{ m}^2$$

, que cumple con la condición de que $v < 35 \text{ m/s}$:

$$v = \frac{0,82}{0,0357} = 23,09 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

, y una rugosidad relativa de:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4,572 \cdot 10^{-5}}{0,2131} = 0,00021$$

Se calcula G:

$$G = \frac{1,66}{0,0357} = 46,49 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{46,49 \cdot 0,2131}{1,594 \cdot 10^{-5}} = 621.607$$

Mediante la *figura A8. 3* se determina el factor de fricción f .

$$f = 0,004$$

A partir de la *ecuación A.196* se puede obtener la presión de entrada a la conducción.

Sustituyendo los valores se obtiene el valor de P_1 :

$$P_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,004 \cdot 8,314 \cdot 558,15 \cdot 5 \cdot 46,49^2}{0,04607 \cdot 0,2131} + (2 \cdot 101.325)^2} = 202.843 \text{ Pa}$$

$$202.843 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{101.325 \text{ Pa}} = 2,002 \text{ atm}$$

La pérdida de carga es de:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 2,002 - 2 = 0,002 \text{ atm}$$

La pérdida de carga en el tramo recto es prácticamente despreciable.

8.3 Tramo 13

Esta conducción corresponde a la corriente de salida del reactor, que contiene el etanol sin reaccionar y el acetaldehído e hidrógeno producidos, de modo que es necesario definir las fracciones másicas (ω) y obtener así una densidad y viscosidad medias.

$$\omega = \frac{m_j}{m_{total}} \quad (\text{A.197})$$

Empleando los caudales másicos de la *tabla A4. 10* se obtienen las fracciones másicas que se recogen en la *tabla A8. 12*.

Tabla A8. 12 Fracciones másicas en la corriente

Compuesto	ω
Etanol	0,55
Acetaldehído	0,43
Hidrógeno	0,02

La densidad media de la mezcla se obtiene multiplicando la fracción másica de cada componente por su densidad a la temperatura de operación, en el caso del tramo 13, 548,07 K. Las densidades y viscosidades a la temperatura de operación se muestran en la *tabla A8. 13*.

Tabla A8. 13 Densidades y viscosidades de las especies presentes en la conducción

Especie	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)
Etanol	1,938	$1,568 \cdot 10^{-5}$
Acetaldehído	1,853	$9,694 \cdot 10^{-6}$
Hidrógeno	0,085	$1,353 \cdot 10^{-5}$

$$\rho_{media} = \sum \omega_j \cdot \rho_j \quad (\text{A.198})$$

$$\mu_{media} = \sum \omega_j \cdot \mu_j \quad (\text{A.199})$$

Sustituyendo los valores

$$\rho_{media} = 0,55 \cdot 1,94 + 0,43 \cdot 1,85 + 0,02 \cdot 0,09 = 1,87 \frac{kg}{m^3}$$

$$\begin{aligned} \mu_{media} &= 0,55 \cdot 1,568 \cdot 10^{-5} + 0,43 \cdot 9,694 \cdot 10^{-6} + 0,02 \cdot 1,353 \cdot 10^{-5} \\ &= 1,309 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s \end{aligned}$$

Del mismo modo se obtiene el peso molecular medio:

$$PM_{medio} = \sum \omega_j \cdot PM_j \quad (A.200)$$

$$PM_{medio} = 0,55 \cdot 0,04607 + 0,43 \cdot 0,04405 + 0,02 \cdot 0,00202 = 0,04435 \frac{kg}{mol}$$

A partir de la densidad media se determina el caudal volumétrico medio mediante la ecuación A.201.

$$Q_v = \frac{m_{total}}{\rho_{media}} \quad (A.201)$$

El caudal másico total se encuentra en la *tabla A4. 10* y sustituyendo los valores:

$$Q_v = \frac{1,66}{1,87} = 0,89 \frac{m^3}{s}$$

De acuerdo con las conducciones suministradas por el fabricante, se escoge un diámetro de 213,1 mm, con una sección de:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot 0,2131^2 = 0,0357 m^2$$

, que cumple con la condición de que $v < 35$ m/s:

$$v = \frac{0,89}{0,0357} = 24,92 \frac{m}{s}$$

, y una rugosidad relativa de:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4,572 \cdot 10^{-5}}{0,2131} = 0,00021$$

Se calcula G:

$$G = \frac{1,66}{0,0357} = 46,49 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

Se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{46,49 \cdot 0,2131}{1,568 \cdot 10^{-5}} = 756.956$$

Mediante la *figura A8. 3* se determina el factor de fricción f .

$$f = 0,004$$

A partir de la *ecuación A.193* se puede obtener la presión de salida de la conducción con los parámetros obtenidos.

$$P_2 = \sqrt{P_1^2 - \frac{4 \cdot f \cdot R \cdot T_1 \cdot L \cdot G^2}{PM \cdot D}} \quad (\text{A.202})$$

Sustituyendo los valores se obtiene el valor de P_1 :

$$P_2 = \sqrt{(1,89 \cdot 101.325)^2 - \frac{4 \cdot 0,004 \cdot 8,314 \cdot 558,15 \cdot 5 \cdot 46,49^2}{0,04435 \cdot 0,2131}} = 191.298 \text{ Pa}$$

$$191.298 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{101.325 \text{ Pa}} = 1,888 \text{ atm}$$

La pérdida de carga es de:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 1,89 - 1,888 = 0,002 \text{ atm}$$

La pérdida de carga en el tramo recto es prácticamente despreciable.

8.4 Tramo 6

Los parámetros conocidos se muestran en la *tabla A8. 4*. De acuerdo con las conducciones suministradas por el fabricante, se emplea un diámetro interno de 749,3 mm, con una sección de:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot 0,7493^2 = 0,4409 \text{ m}^2$$

, que cumple con la condición de que $v < 35 \text{ m/s}$:

$$v = \frac{12,77}{0,4409} = 28,97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

, y una rugosidad relativa de:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4,572 \cdot 10^{-5}}{0,7493} = 0,00014$$

Se calcula G:

$$G = \frac{0,90}{0,0794} = 56,74 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

Se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{56,74 \cdot 0,7493}{2,234 \cdot 10^{-5}} = 161514$$

Mediante la *figura A8. 3* se determina el factor de fricción f .

$$f = 0,004$$

A partir de la *ecuación A.196* se puede obtener la presión de entrada a la conducción.

Sustituyendo los valores se obtiene el valor de P_1 :

$$P_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,004 \cdot 8,314 \cdot 623,15 \cdot 5 \cdot 56,74^2}{0,01802 \cdot 0,7493} + (1,64 \cdot 101.325)^2} = 166.798 Pa$$

$$166.798 Pa \cdot \frac{1 atm}{101.325 Pa} = 1,6462 atm$$

La pérdida de carga es de:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 1,6462 - 1,64 = 0,0062 atm$$

La pérdida de carga en el tramo recto es prácticamente despreciable.

8.5 Tramo 11

Los parámetros conocidos se muestran en la *tabla A8. 5*. De acuerdo con las conducciones suministradas por el fabricante, se escoge un diámetro de 16,1 mm, con una sección de:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0161^2 = 0,0002 \text{ m}^2$$

, que cumple con la condición de que $v < 35 \text{ m/s}$:

$$v = \frac{0,82}{0,0002} = 27,30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

, y una rugosidad relativa de:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4,572 \cdot 10^{-5}}{0,0161} = 0,00284$$

Se calcula G:

$$G = \frac{0,167}{0,0002} = 819,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{819,07 \cdot 0,0161}{1,4 \cdot 10^{-4}} = 94.193$$

Mediante la *figura A8. 3* se determina el factor de fricción f .

$$f = 0,007$$

A partir de la *ecuación A.196* se puede obtener la presión de entrada a la conducción.

Sustituyendo los valores se obtiene el valor de P_1 :

$$P_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,007 \cdot 8,314 \cdot 650 \cdot 5 \cdot 819,07^2}{0,162 \cdot 0,0161} + (10 \cdot 101.325)^2} = 1.020.743 \text{ Pa}$$

$$1.020.743 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{101.325 \text{ Pa}} = 10,07 \text{ atm}$$

La pérdida de carga es de:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 10,07 - 10 = 0,07 \text{ atm}$$

La pérdida de carga en el tramo recto es prácticamente despreciable.

8.6 Tramo 19

Una vez diseñadas las conducciones de la parte central de la instalación se diseña la conducción que recircula el etanol no reaccionado que se obtiene del tren de separación. Esta conducción consta de 3 tramos rectos, dos de 5 metros y uno de 30 metros, y 3 accidentes, 2 codos de 90° y un empalme.

Para facilitar el empalme al tramo 3 se decide emplear una conducción con las mismas características de las que dispone el tramo 3.

En la *tabla A8. 14* se muestran las principales características de la conducción.

Tabla A8. 14 Parámetros característicos Tramo 19

Tramo 19		
T_{entrada}	363,15	K
F	19,96	mol/s
PM	46,07	g/mol
m	0,92	kg/s
ρ	1,55	kg/m ³
Q_v	0,59	m ³ /s
$L_{\text{tramos rectos}}$	5 + 5 + 30 = 40	m
R	8,314	J/mol·K
μ (363,15 K)	$1,075 \cdot 10^{-5}$	Pa·s
P_2	1	atm
D_0	0,1683	m
e	3	mm
D_i	0,1623	m
Corriente de etanol puro		

Para determinar la longitud equivalente de los accidentes se emplea un ábaco como el que se muestra en la *figura A8. 4*. Este ábaco permite conocer la longitud equivalente de los accidentes a partir del diámetro interno de la conducción.

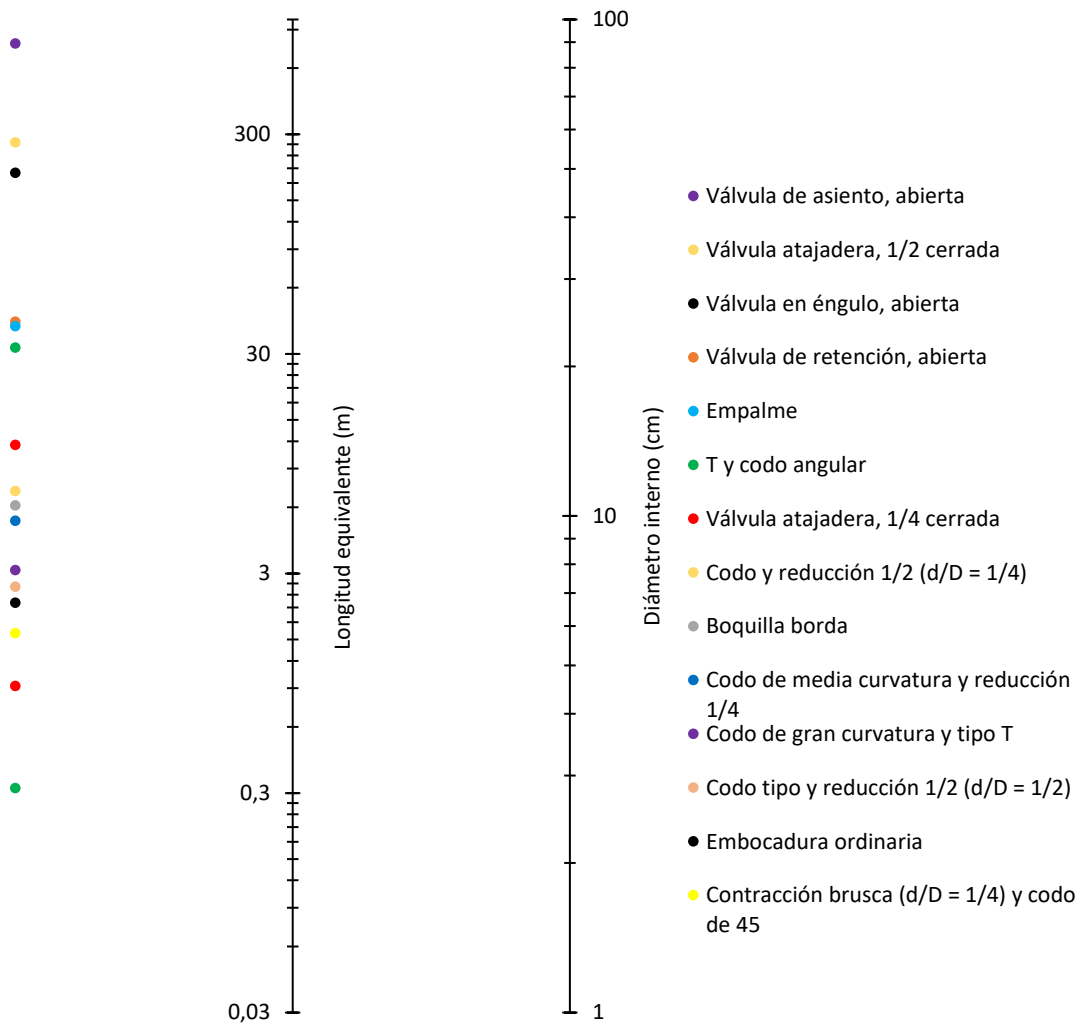


Figura A8. 4 Ábaco de accidentes

La *tabla A8. 15* recoge la longitud equivalente de los accidentes presentes:

Tabla A8. 15 Longitud equivalente de los accidentes

Accidente	Lequivalente	Uds.
Codo de 90°	9	m
Codo de 90°	9	m
Empalme	25,5	m

Una vez determinada la longitud equivalente de los accidentes, se determina la longitud total mediante la *ecuación A.203*:

$$L_{total} = L_{tramos rectos} + L_{equivalente de los accidentes} \quad (A.203)$$

Sustituyendo los valores:

$$L_{total} = 40 + 9 + 9 + 25,5 = 83,5 \text{ m}$$

Una vez obtenida la longitud total del tramo, se diseña la conducción del mismo modo que se ha diseñado las anteriores.

De acuerdo con las conducciones suministradas por el fabricante, se emplea un diámetro interno de 162,3 mm, con una sección de:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot 0,1623^2 = 0,0207 \text{ m}^2$$

, que cumple con la condición de que $v < 35 \text{ m/s}$:

$$v = \frac{0,59}{0,0207} = 28,73 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

, y una rugosidad relativa de:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4,572 \cdot 10^{-5}}{0,1623} = 0,00028$$

Se calcula G:

$$G = \frac{0,92}{0,0207} = 44,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{44,44 \cdot 0,1623}{1,075 \cdot 10^{-5}} = 671.138$$

Mediante la *figura A8. 3* se determina el factor de fricción f .

$$f = 0,004$$

A partir de la *ecuación A.196* se puede obtener la presión de entrada a la conducción.

Sustituyendo los valores se obtiene el valor de P_1 :

$$P_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,004 \cdot 8,314 \cdot 363,15 \cdot 83,5 \cdot 44,44^2}{0,04607 \cdot 0,1623}} + (1 \cdot 101.325)^2 = 106.408 \text{ Pa}$$

$$106.408 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{101.325 \text{ Pa}} = 1,05 \text{ atm}$$

La pérdida de carga es de:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 1,05 - 1 = 0,05 \text{ atm}$$

La pérdida de carga es prácticamente despreciable.

9 ANEJO 9. IMPULSIÓN DE FLUIDOS

Para el rango de presiones de operación, el tipo de compresión más empleada a nivel industrial es la politrópica.

Por lo que el trabajo (J/kg) se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$\widehat{W} = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{R \cdot T_1}{PM} \cdot \left(r^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad (\text{A.204})$$

, siendo r la razón entre la presión de salida y la de entrada y n el exponente politrópico, que se determina mediante la *ecuación A.205*.

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\phi-1}{\phi} \cdot \frac{1}{\eta_p} \quad (\text{A.205})$$

Siendo η_p la eficacia politrópica de la compresión, la literatura recomienda valores próximos al 80% (valor conservador), de modo que se fija en este valor, y ϕ es el exponente adiabático c_p/c_v que varía con la temperatura como se aprecia en la *figura A9.1*.

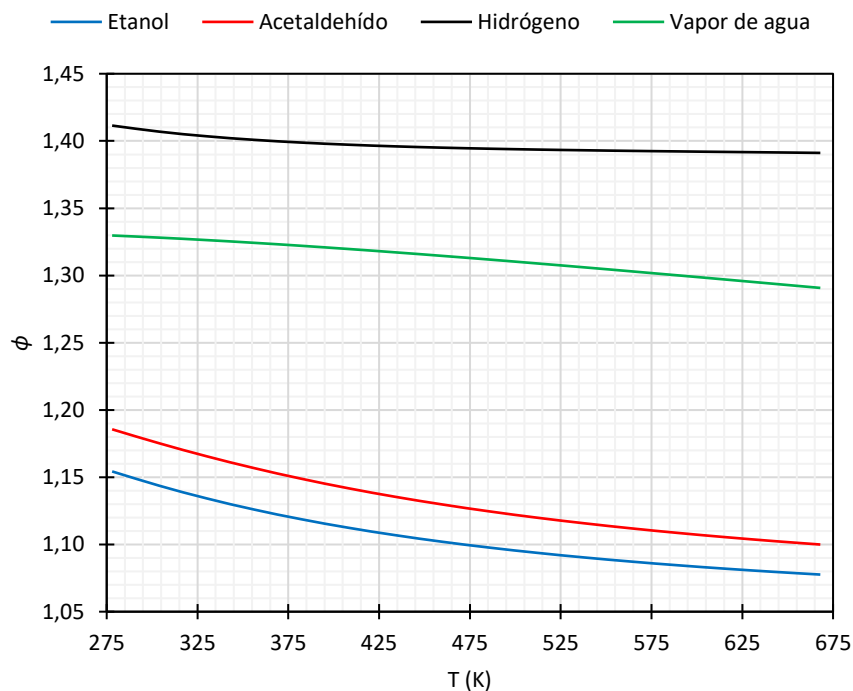


Figura A9.1 Variación del exponente adiabático de las especies con la temperatura

La ecuación A.205 se puede reordenar para despejar el valor de n renombrando el término $\frac{\phi-1}{\phi} \cdot \frac{1}{\eta_p}$:

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\phi-1}{\phi} \cdot \frac{1}{\eta_p} = a \quad (\text{A.206})$$

$$n = \frac{1}{1-a} \quad (\text{A.207})$$

, multiplicando la ecuación A.204 por el caudal molar y el peso molecular se obtiene la expresión que determina la potencia del compresor.

$$W = \widehat{W} \cdot F \cdot PM \quad (\text{A.208})$$

Teniendo en cuenta la eficiencia de la compresión, se determina la potencia real del compresor.

$$W_{real} = \frac{W}{\eta_p} \quad (\text{A.209})$$

Del mismo modo que se ha hecho en el *Anejo 8*, se va a nombrar a los compresores por su índice en el diagrama de flujo de la instalación (*figura A2. 1*) a la hora de llevar a cabo los cálculos.

9.1 COMPRESOR 2

Este compresor se emplea para comprimir el etanol que se encuentra almacenado a 90°C para introducirlo al intercambiador de calor. En la *tabla A9. 1* se recogen los parámetros conocidos.

Tabla A9. 1 Condiciones de entrada al Compresor 2

Parámetro	Valor	Uds.
T _{entrada}	363,15	K
F	36	mol/s
PM	46,07	g/mol
ρ _m	1,93	kg/m ³
R	8,314	J/mol·K
η _p	0,80	-
P ₁	1	atm
P ₂	1,5	atm
r	1,5	-
Corriente de etanol puro		

La densidad empleada es la densidad media, que se ha definido como el promedio de las densidades medidas a la presión de entrada y la de salida respectivamente.

Las densidades que se muestran en la *tabla A9. 2* se han determinado a partir de la *ecuación A.2*, donde R = 0,082 atm·L/mol·K.

Tabla A9. 2 Densidad media en el Compresor 2

	Valor (kg/m ³)
ρ ₁	1,55
ρ ₂	2,32
ρ _m	1,93

A partir de la temperatura de entrada al compresor y empleando la *figura A9. 1*, se obtiene un valor de $\phi = 1,125$.

Sustituyendo el valor de ϕ y la η_p en la *ecuación A.206*, se puede determinar el valor de a :

$$a = \frac{1,125 - 1}{1,125} \cdot \frac{1}{0,8} = 0,139$$

, sustituyendo el valor de a en la *ecuación A.207* se obtiene el valor de n .

$$n = \frac{1}{1 - 0,139} = 1,161$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación A.204, se obtiene el trabajo a realizar por el compresor por kilogramo.

$$\hat{W} = \frac{1,161}{1,161 - 1} \cdot \frac{8,314 \cdot 363,15}{0,04607} \cdot \left(1,5^{\frac{1,161-1}{1,161}} - 1 \right) = 27.337,5 \frac{J}{kg}$$

Empleando la ecuación A.208 se obtiene la potencia (W).

$$W = 27.337,5 \frac{J}{kg} \cdot 0,04607 \frac{kg}{mol} \cdot 36 \frac{mol}{s} = 45.326,6 \text{ Vatios}$$

A partir de la ecuación A.209 se obtiene la potencia real:

$$W_{real} = \frac{45.326,6}{0,8} = 56.658,3 \text{ Vatios} \equiv 56,66 \text{ kW}$$

9.2 COMPRESOR 5

Este compresor se emplea para comprimir el vapor de agua que se encuentra en la red de circulación a 350°C para introducirlo al intercambiador de calor. En la tabla A9. 3 se recogen los parámetros conocidos.

Tabla A9. 3 Condiciones de entrada al Compresor 5

Parámetro	Valor	Uds.
T _{entrada}	623,15	K
F	250	mol/s
PM	18,02	g/mol
ρ _m	0,47	kg/m ³
R	8,314	J/mol·K
η _p	0,80	-
P ₁	1	atm
P ₂	1,64	atm
r	1,64	-
Corriente de vapor de agua puro		

La densidad empleada es la densidad media, que se ha definido como el promedio de las densidades medidas a la presión de entrada y la de salida respectivamente.

Las densidades que se muestran en la *tabla A9. 4* se han determinado a partir de la *ecuación A.2*, donde $R = 0,082 \text{ atm}\cdot\text{L/mol}\cdot\text{K}$.

Tabla A9. 4 Densidad media en el Compresor 6

	Valor (kg/m ³)
ρ_1	0,35
ρ_2	0,58
ρ_m	0,47

A partir de la temperatura de entrada al compresor y empleando la *figura A9. 1*, se obtiene un valor de $\phi = 1,296$.

Sustituyendo el valor de ϕ y la η_p en la *ecuación A.206*, se puede determinar el valor de a :

$$a = \frac{1,296 - 1}{1,296} \cdot \frac{1}{0,8} = 0,286$$

, sustituyendo el valor de a en la *ecuación A.207* se obtiene el valor de n .

$$n = \frac{1}{1 - 0,286} = 1,4$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la *ecuación A.204*, se obtiene el trabajo a realizar por el compresor por kilogramo.

$$\hat{W} = \frac{1,4}{1,4 - 1} \cdot \frac{8,314 \cdot 623,15}{0,01802} \cdot \left(1,64^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right) = 152.815 \frac{J}{kg}$$

Empleando la *ecuación A.208* se obtiene la potencia (W).

$$W = 152.815 \frac{J}{kg} \cdot 0,01802 \frac{kg}{mol} \cdot 250 \frac{mol}{s} = 688.252,1 \text{ Vatios}$$

A partir de la *ecuación A.209* se obtiene la potencia real:

$$W_{real} = \frac{688.252,1}{0,8} = 860.315 \text{ Vatios} \equiv 860,32 \text{ kW}$$

9.3 COMPRESOR 8

Este compresor se emplea para comprimir el etanol que ale del intercambiador de calor a 285°C para introducirlo al reactor. En la *tabla A9. 5* se recogen los parámetros conocidos.

Tabla A9. 5 Condiciones de entrada al Compresor 8

Parámetro	Valor	Uds.
T _{entrada}	558,15	K
F	36	mol/s
PM	46,07	g/mol
ρ	1,51	kg/m ³
R	8,314	J/mol·K
η _p	0,80	-
P ₁	1	atm
P ₂	2	atm
r	2	-
Corriente de etanol puro		

La densidad empleada es la densidad media, que se ha definido como el promedio de las densidades medidas a la presión de entrada y la de salida respectivamente.

Las densidades que se muestran en la *tabla A9. 6* se han determinado a partir de la *ecuación A.2*, donde R = 0,082 atm·L/mol·K.

Tabla A9. 6 Densidad media del Compresor 9

	Valor (kg/m ³)
ρ ₁	1,01
ρ ₂	2,01
ρ _m	1,51

A partir de la temperatura de entrada al compresor y empleando la *figura A9. 1*, se obtiene un valor de φ = 1,087.

Sustituyendo el valor de φ y la η_p en la *ecuación A.206*, se puede determinar el valor de α:

$$a = \frac{1,087 - 1}{1,087} \cdot \frac{1}{0,8} = 0,1$$

, sustituyendo el valor de α en la *ecuación A.207* se obtiene el valor de n.

$$n = \frac{1}{1 - 0,1} = 1,111$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación A.204, se obtiene el trabajo a realizar por el compresor por kilogramo.

$$\hat{W} = \frac{1,111}{1,111 - 1} \cdot \frac{8,314 \cdot 558,15}{0,04607} \cdot \left(2^{\frac{1,111-1}{1,111}} - 1 \right) = 72.289,2 \frac{J}{kg}$$

Empleando la ecuación A.208 se obtiene la potencia (W).

$$W = 72.289,2 \frac{J}{kg} \cdot 0,04607 \frac{kg}{mol} \cdot 36 \frac{mol}{s} = 119.858,3 \text{ Vatios}$$

A partir de la ecuación A.209 se obtiene la potencia real:

$$W_{real} = \frac{119.858,3}{0,8} = 149.822,9 \text{ Vatios} \equiv 149,82 \text{ kW}$$

La tabla A9. 7 recoge las potencias reales de los 3 compresores.

Tabla A9. 7 Potencias de los compresores

Compresor	W_{real} (kW)
2	56,66
5	860,32
8	149,82

10 ANEJO 10. ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

10.1 LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

La importancia de la Seguridad y Salud laboral en los últimos años ha experimentado un interés creciente en todos los ámbitos, tanto a nivel legislativo, de formación, de publicaciones, etc. [28].

Así, se ha pasado de considerar los temas de seguridad como algo marginal del que debe ocuparse solo una o unas pocas personas, dedicando el mínimo coste para intentar evitar consecuencias graves de los accidentes, y en procesos más o menos considerados de alto riesgo, a una filosofía en la que la seguridad es cosa de todos y cada uno de los trabajadores, de todas las actividades y se debe actuar a priori, es decir, basar las actuaciones en una política preventiva.

Por otra parte, el concepto de Salud Laboral se ha ampliado, desde el concepto inicial de salud física u orgánica, hasta considerar la salud psíquica y la salud social o el bienestar en la vida relacional del individuo.

El cambio de filosofía en España se inició con la publicación de la Ley 31/1995, del 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, donde se establecen una serie de obligaciones en materia de seguridad y salud laboral para un gran número de actividades.

Así, se definen varios conceptos básicos:

- **Accidente de trabajo:** Se define como las agresiones sufridas con ocasión o a consecuencia del trabajo, que, actuando una sola vez, producen lesiones perfectamente identificables, de carácter leve, grave o mortal. Pueden ser *in itinere* o *in misión*.
- **Enfermedades Profesionales:** Se entiende por enfermedad profesional a aquella enfermedad contraída 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 haya sido provocada por las acciones de los elementos o sustancias que en el mencionado cuadro se indican para cada enfermedad.

- Seguridad en el trabajo: Se define como el conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto eliminar o disminuir el riesgo de que se produzcan los accidentes de trabajo. Su aplicación es multidisciplinar.
- Higiene en el trabajo: Se define como el conjunto de técnicas y procedimientos para prevenir las enfermedades profesionales.

La ley tiene el objetivo de determinar el cuerpo básico de garantías y responsabilidades para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo.

A continuación, se resumen algunos aspectos del contenido de la Ley de <prevención de Riesgos Laborales:

- Principios básicos
 - a. Principio de prevención.
 - b. Principio de atenuación del riesgo inevitable.
 - c. Principio de evaluación, adaptación y adecuación.
 - d. Principio de seguridad integrada.
 - e. Principio de preeminencia de la protección colectiva.
 - f. Principio de primacía de la prevención.
- Evaluación de riesgos

El empresario efectuará una evaluación inicial de los riesgos con la finalidad de planificar la acción preventiva de la empresa.

Esta evaluación de riesgos es obligatoria, y se recoge como un pilar básico de la estructura de prevención.

- Formación

El empresario debe garantizar que el trabajador reciba una formación teórica y práctica adecuada en materia de prevención.

El coste correrá siempre a cargo de la empresa, y la formación se realizará preferentemente en horario laboral.

- Vigilancia de la salud

El empresario debe garantizar la vigilancia periódica del estado de salud de los trabajadores, aunque esta vigilancia solo se efectuará cuando el trabajador preste su consentimiento, con las excepciones contempladas en la ley.

- Protección de determinados colectivos

Se contemplan una serie de obligaciones empresariales tendentes a proteger a determinados colectivos de trabajadores.

- a. Trabajadores especialmente sensibles a determinados riesgos.
- b. Mujeres en situación de maternidad.
- c. Menores de 18 años.
- d. 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 deben 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 especifique la forma correcta de utilización.

- Derechos del trabajador

Un derecho genérico de todo trabajador es el de tener una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo.

- Obligaciones del trabajador

Corresponde a cada trabajador velar, en virtud de sus posibilidades, por su propia seguridad y salud en el trabajo y para la de aquellas otras personas a las que pueda afectar su actividad profesional.

Por ello es obligado el uso de los elementos de protección personal que la empresa le entregue al trabajador a tal fin.

- Representación de los trabajadores en prevención de riesgos laborales

Los Delegados de Prevención son los representantes de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos laborales. El número de Delegados de Prevención en una empresa depende del número de trabajadores de la misma.

El Comité de Seguridad y Salud debe formarse en todas las empresas que cuenten con 50 o más trabajadores, y en él están representados de forma paritaria la empresa y los trabajadores. Además, está destinado a la consulta regular y periódica de las actuaciones de la empresa en materia de prevención de riesgos.

10.2 IMPACTO AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA

A la hora de diseñar y construir una nueva instalación, uno de los aspectos por abordar más importantes es el impacto ambiental que puede causar la nueva planta. Para ello se deben seguir las normas de gestión ambiental establecidas, como la norma ISO 14001, con la que se pretende llevar a cabo el menor impacto ambiental posible.

El estudio específico de impacto ambiental será responsabilidad de la empresa que contrate la construcción de la planta en consonancia con lo establecido en el Pliego de Condiciones.

A pesar de esto, en los siguientes párrafos se indican las principales emisiones contaminantes de la instalación.

- Emisiones atmosféricas

Se pueden generar emisiones atmosféricas en el momento en el que se produzca cualquier clase de fuga en el sistema que compone la instalación puesto que la planta opera con compuestos en fase gas.

- Generación de residuos y emisiones acuosas

En la planta se generan residuos durante los periodos de parada, cuando se procede a la limpieza de los equipos, en función del equipo que se limpie se empleará un fluido de limpieza u otro, generalmente se empleará agua.

- Generación de ruido

La planta genera ruido debido al funcionamiento de los equipos, principalmente los compresores.

Para combatir las emisiones contaminantes de la planta se debe:

- Gestionar las emisiones acuosas en una planta de tratamiento de aguas adecuada, en el caso del presente proyecto, se enviarían a la depuradora de Castellón de la Plana.

- Trasladar los residuos generados en bidones específicos y correctamente etiquetados para ser tratados en otras partes de la planta o para ser enviados al ECOPARQUE.
- Utilizar los aislantes adecuados, así como los EPI necesarios con tal de reducir los niveles de ruido a niveles permitidos por la legislación.

Toda industria debe cumplir una serie de mínimos requisitos de seguridad, que quedan recogidos en el Real Decreto 486/1997 del 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo:

- Condiciones constructivas

Los edificios y locales de los lugares de trabajo deberán poseer la estructura y solidez apropiadas a su tipo de utilización. Los elementos estructurales deberán tener la solidez y resistencia necesarias para soportar las cargas o esfuerzos a que sean sometidos.

Las dimensiones de los locales de trabajo deberán permitir que los trabajadores realicen su trabajo sin riesgo para su seguridad y salud en condiciones ergonómicas aceptables.

Las escaleras de mano tendrán la resistencia y los elementos de apoyo y sujeción necesarios para que su utilización no suponga un riesgo de caída por rotura o deslizamiento de las mismas.

Las vías y salidas de evacuación, así como las vías de circulación y las puertas de acceso se ajustarán a lo dispuesto en su normativa específica

- 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.

- Iluminación

La iluminación de cada zona o lugar de trabajo deberá adaptarse a las características de la actividad que se efectúe en ella teniendo en cuenta los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores dependientes de condiciones de visibilidad y las exigencias visuales de las tareas desarrolladas.

Siempre que sea posible, los lugares de trabajo tendrán una iluminación natural que deberá complementarse con iluminación artificial cuando la primera no sea suficiente por sí sola.

Se intentará que la distribución de los niveles de iluminación sea lo más uniforme posible, evitando variaciones bruscas de iluminación dentro de la zona de operación.

Los sistemas de iluminación utilizados no deben originar riesgos eléctricos, de incendio o de explosión, cumpliendo lo dispuesto en la normativa específica vigente.

- Instalación eléctrica:

La instalación eléctrica deberá ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica. En todo caso y salvo disposiciones específicas de dicha normativa, la instalación eléctrica no deberá entrañar riesgos de incendio o explosión.

Los trabajadores deberán estar debidamente protegidos contra los riesgos de accidente causados por contactos directos o indirectos

- Condiciones ambientales de los lugares de trabajo

La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores. En los locales de trabajo se mantendrán las condiciones atmosféricas adecuadas, evitando el exceso de calor y frío, humedad o sequía y olores desagradables.

- Señalización

La señalización es la información relativa a seguridad que conviene que el trabajador reciba para evitar accidentes. Las señales:

- a. Se instalarán a una altura y posición apropiada en relación al ángulo visual teniendo en cuenta los posibles obstáculos.
- b. El lugar de emplazamiento de la señal deberá estar bien iluminado, ser accesible y fácilmente visible.
- c. Con el fin de evitar la disminución de la eficacia de la señalización no se utilizarán demasiadas señales próximas entre sí.

- Equipos de Protección Individual (EPI)

Se entiende por EPI cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que lo proteja de los riesgos que pueden amenazar su seguridad o salud. Las protecciones deben estar homologadas por la legislación vigente, y se dividen en protecciones parciales, las cuales protegen partes o zonas concretas del cuerpo como el casco, los guantes o las gafas y en integrales, que protegen al individuo, como el cinturón de seguridad o ropa de trabajo.

Es fundamental mantener en buen estado los EPI, y en caso de notar alguna deficiencia se debe comunicar inmediatamente al jefe de planta.

11 ANEJO 11. CATÁLOGOS

En el siguiente apartado se muestran los catálogos de los equipos seleccionados para la instalación.

11.1 Conducción de Vapor de Agua



Dimensiones y Peso ANSI B-36.19.

NPS	Diámetro Ext. (mm)	Espesor/ Masa			
		5S	10S	40S	80S
1/8	10.3		1.24 0.28	1.73 0.36	2.41 0.46
1/4	13.7		1.65 0.49	2.24 0.63	3.02 0.80
3/8	17.1		1.65 0.63	2.31 0.85	3.2 1.10
1/2	21.3	1.65 0.80	2.11 1.00	2.77 1.27	3.73 1.62
3/4	26.7	1.65 1.03	2.11 1.28	2.87 1.68	3.91 2.19
1	33.4	1.65 1.29	2.77 2.08	3.38 2.50	4.55 3.23
1 1/4	42.2	1.65 1.65	2.77 2.69	3.56 3.38	4.85 4.47
1 1/2	48.3	1.65 1.90	2.77 3.12	3.68 4.05	5.08 5.41
2	60.3	1.65 2.38	2.77 3.93	3.91 5.44	5.54 7.48
2 1/2	73.0	2.11 3.68	3.05 5.26	5.16 8.62	7.01 11.41
3	88.9	2.11 4.52	3.05 6.45	6.49 11.29	7.62 15.27
3 1/2	101.6	2.11 5.17	3.05 7.40	5.74 13.57	8.08 18.63
4	114.3	2.11 5.81	3.05 8.34	6.02 16.07	8.50 22.31
5	141.3	2.77 9.45	3.40 11.58	6.55 21.78	9.52 30.95
6	168.3	2.77 11.31	3.40 13.82	7.11 28.26	10.97 42.56
8	219.1	2.77 14.78	3.76 19.94	8.18 42.53	12.70 64.63
10	273.1	3.40 22.62	4.19 27.96	9.27 60.29	12.70 81.46
12	323.9	3.96 33.00	4.57 36.22	9.52 73.82	12.70 93.44
14	355.6	3.96 34.23	4.78 41.30		
16	406.4	4.19 41.60	4.78 47.29		
18	457.0	4.19 46.83	4.78 53.26		
20	508.0	4.78 59.22	5.54 69.09		
22	559.0	4.78 65.75	5.54 76.10		
24	610.0	5.54 83.11	6.35 95.13		
30	762.0	6.35 119.09	7.92 148.22		

11.2 Conducciones Generales

TUBERÍA ISO

Calidades: AISI-304L Y AISI-316L.

Tubo norma: dimensiones ISO- 1127 (DIN 2463) fabricados según DIN-17458 EN 10217-7 Soldados con procedimientos de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas)

DN pulgadas		Tubos	
		Medidas (mm)	Peso (kg/m)
3/8"	DN-10	17,2 x 1,6	0,646
		17,2 x 2,0	0,766
1/2"	DN-15	21,3 x 1,6	0,817
		21,3 x 2,0	0,973
		21,3 x 2,6	1,285
3/4"	DN-20	26,9 x 1,6	1,049
		26,9 x 2,0	1,255
		26,9 x 2,6	1,600
1	DN-25	33,7 x 1,6	1,332
		33,7 x 2,0	1,598
		33,7 x 2,6	2,050
1 - 1/4"	DN-32	42,4 x 1,6	1,694
		42,4 x 2,0	2,036
		42,4 x 2,6	2,600
1 - 1/2"	DN-40	48,3 x 1,6	1,939
		48,3 x 2,0	2,333
		48,3 x 2,6	3,040
2"	DN-50	48,3 x 3,0	3,424
		60,3 x 1,6	2,438
		60,3 x 2,0	2,938
2 - 1/2"	DN-65	60,3 x 2,6	3,770
		60,3 x 3,0	4,331
		76,1 x 1,6	3,095
3"	DN-80	76,1 x 2,0	3,734
		76,1 x 2,6	4,820
		76,1 x 3,0	5,526
3 - 1/2"	DN-90	88,9 x 1,6	3,627
		88,9 x 2,0	4,379
		88,9 x 2,6	5,650
4"	DN-100	88,9 x 3,0	6,494
		101,6 x 2,0	5,019
		101,6 x 2,6	6,492
5"	DN-125	101,6 x 3,0	7,454
		114,3 x 1,6	4,683
		114,3 x 2,0	5,659
6"	DN-150	114,3 x 2,6	7,324
		114,3 x 3,0	7,730
		139,7 x 2,0	6,940
6"	DN-150	139,7 x 2,6	8,980
		139,7 x 3,0	10,334
		168,3 x 2,0	8,381

ACINESGON

BURGOS Telf. +34 947 484 111 | Fax. +34 947 486 569 | acinesgonbu@acinesgon.com
 VALLADOLID Telf. +34 983 208 211 | Fax. +34 983 297 826 | acinesgonva@acinesgon.com
 TUDELA Telf. +34 948 403 266 | Fax. +34 948 826 898 | acinesgonma@acinesgon.com
 MADRID Telf. +34 918 753 291 | Fax. +34 918 753 230 | acinesgonma@acinesgon.com
 PAIS VASCO Telf. +34 943 058 602 | Fax. +34 947 486 569 | acinesgonpv@acinesgon.com
 GALICIA Telf. +34 986 091 510 | Fax. +34 986 070 463 | acinesgonga@acinesgon.com
 FRANCIA Telf. +33 (0) 678266087 | Fax. +33 (0) 556985655 | acinesgonfr@acinesgon.com

15

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empacado

		168,3 x 2,6	10,860
		168,3 x 3,0	12,496
8"	DN-200	219,1 x 2,0	10,936
		219,1 x 2,6	14,180
		219,1 x 3,0	16,329
		273,1 x 2,0	13,658
10"	DN-250	273,1 x 2,6	17,722
		273,1 x 3,0	20,412
12"	DN-300	323,9 x 2,0	16,223
		323,9 x 2,6	21,057
		323,9 x 3,0	24,260

TUBERÍA SCHEDULE ASTM

Calidades: AISI-304 Y AISI-316 / Norma ASTM-A-312 ANSI-B-36-19.
 Calidades: ASTM-A-530, AISI-304-L, AISI-316-L.

Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor de pared y peso por metro					
		SCHEDULE 10 S		SCHEDULE 40 S		SCHEDULE 80 S	
		mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m
1/4"	13,71	1,65	0,50	2,24	0,64	3,02	0,81
3/8"	17,15	1,65	0,64	2,31	0,86	3,20	1,12
1/2"	21,34	2,11	1,02	2,77	1,29	3,73	1,64
3/4"	26,67	2,11	1,30	2,87	1,71	3,91	2,23
1"	33,40	2,77	2,12	3,38	2,54	4,55	3,29
1 1/4"	42,16	2,77	2,73	3,56	3,44	4,85	4,53
1 1/2"	48,26	2,77	3,15	3,68	4,11	5,08	5,49
2"	60,33	2,77	3,99	3,91	5,52	5,54	7,60
2 1/2"	73,03	3,05	5,34	5,16	8,77	7,01	11,59
3"	88,90	3,05	6,56	5,49	11,45	7,62	15,51
4"	114,30	3,05	8,50	6,02	16,32	8,56	22,62
6"	168,28	3,40	14,04	7,11	28,69	10,97	43,16
8"	219,08	3,76	20,24	8,18	43,13	12,70	64,54
10"	273,05	4,20	28,17	9,27	60,31	12,70	81,55
12"	323,85	4,57	36,51	9,53	73,88	12,70	97,46

ACINESGON

BURGOS Telf. +34 947 484 111 | Fax. +34 947 486 569 | acinesgonbu@acinesgon.com
 VALLADOLID Telf. +34 983 208 211 | Fax. +34 983 297 325 | acinesgonva@acinesgon.com
 TUDELA Telf. +34 948 403 266 | Fax. +34 948 826 898 | acinesgonma@acinesgon.com
 MADRID Telf. +34 918 753 291 | Fax. +34 918 753 230 | acinesgonma@acinesgon.com
 PAIS VASCO Telf. +34 943 058 602 | Fax. +34 947 486 569 | acinesgonpw@acinesgon.com
 GALICIA Telf. +34 986 091 510 | Fax. +34 986 070 463 | acinesgonal@acinesgon.com
 FRANCIA Telf. +33 (0) 678266087 | Fax. +33 (0) 556985655 | acinesgonfr@acinesgon.com

16

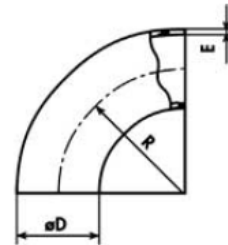
11.3 Codos

ACCESORIOS PARA TUBERÍA

CODOS ISO

Codos acero inoxidable / R=1,5 Y=90°. Calidades AISI-304 y AISI-316.

MEDIDAS (mm)			MEDIDAS (mm)		
D	E	R	D	E	R
17.2	1,6	25	76.1	2,6	95
17.2	2	25	76.1	3	95
21.3	1,6	27	76.1	3.6	95
21.3	1,6	38	88.9	2	114
21.3	2	27	88.9	2.6	114
21.3	2	38	88.9	3	114
21.3	2.6	27	88.9	3.2	114
29.9	1,6	28	88.9	4	114
26.9	2	28	101.6	2	133
26.9	2.6	28	101.6	3	133
33.7	1.6	38	104.3	2	152
33.7	2	38	104.3	2.6	152
33.7	2.6	38	104.3	3	152
33.7	3	38	139.7	2	190
42.4	1,6	48	139.7	2.6	190
42.4	2	48	139.7	3	190
42.4	2.6	48	168.3	2	229
42.4	3	48	168.3	2,6	229
42.4	3,2	48	168.3	3	229
48.3	1.6	57	219.1	2	305
48.3	2	57	219.1	2,6	305
48.3	2.6	57	219.1	3	305
48.3	3	57	256	3	350
48.3	2	57	256	3	375
60.3	1.6	76	273.1	2	381
60.3	2	76	273.1	3	381
60.3	2.6	76	273.1	4	381
60.3	3	76	273.1	3	450
60.3	3,6	76	356	3	
76.1	1,6	95	406	3	
76.1	2	95	506	3	



ACINESGON

BURGOS Telf. +34 947 484 111 | Fax. +34 947 486 569 | acinesgonbu@acinesgon.com

VALLADOLID Telf. +34 983 208 211 | Fax. +34 983 297 826 | acinesgonva@acinesgon.com

TUDELA Telf. +34 948 403 266 | Fax. +34 948 826 898 | acinesgonna@acinesgon.com

MADRID Telf. +34 918 733 291 | Fax. +34 918 733 230 | acinesgonma@acinesgon.com

PAIS VASCO Telf. +34 943 058 602 | Fax. +34 947 486 569 | acinesgonpv@acinesgon.com

CALICIA Telf. +34 986 091 510 | Fax. +34 986 070 463 | acinesgonca@acinesgon.com

FRANCIA Telf. +33 (0) 678266087 | Fax. +33 (0) 556985655 | acinesgonfr@acinesgon.com

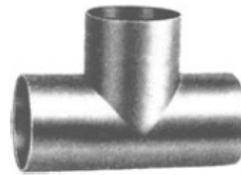
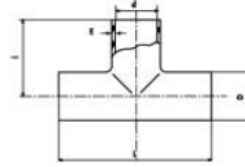
20

11.4 Empalme (T)

TES

Tes acero inoxidable. Calidad AISI-316.

MEDIDAS (mm)				
D	d	L	I	E
18	15	65	32,5	1,5
20	17	75	37,5	1,5
21,3	17,3	50	25	2
23	20	75	37,5	1,5
25	22	75	37,5	1,5
26,9	22,9	58	29	2
28	25	75	37,5	1,5
30	27	80	40	1,5
33	30	90	45	1,5
33,7	29,7	76	38	2
38	35	95	47,5	1,5
42,4	38,4	96	48	2
43	40	100	50	1,5
48,3	44,3	114	57	2
50,8	47,8	115	57,5	1,5
53	50	115	57,5	1,5
60,3	56,3	128	64	2
63,5	60,5	152	76	1,5
73	70	152	76	1,5
76	73	152	76	1,5
76,1	72,1	152	76	2
84	80	172	86	2
88,9	84,9	172	86	2
104	100	210	105	2
114,3	110,3	210	105	2
129	125	248	124	2
139,7	135,7	248	124	2
154	150	286	143	2
168,3	164,3	286	143	2
204	200	356	178	2
219,1	215,1	356	178	2
254	250	432	216	2
273,1	269,1	432	216	2
304	300	508	254	2
323,9	319,9	508	254	2
354	350	558	279	2



11.5 Tanque de almacenamiento de acetaldehído

Altura (m):		1,250	1,750	2,438	2,978	3,628	4,166	4,814	5,354	6,002	6,542	7,190	7,730	8,378	8,918	9,568	10,106	10,754	11,294	11,942
Altura Referencial:		01	15	02	25	03	35	04	45	05	55	06	65	07	75	08	85	09	95	10
Ø (m)	Radio (m)	Ø ref.	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³
3,048	1,524	04	6	10	15	18	23	27	32	36	41	44	49							
3,810	1,905	05	9	15	23	29	36	42	50	56	63	69	77	83	90					
4,572	2,286	06	13	22	33	42	52	61	72	81	91	100	111	120	130	139	150			
5,334	2,667	07	18	30	44	56	71	83	98	110	124	136	151	163	177	189	204	216	230	
6,096	3,048	08	23	39	58	74	93	108	127	143	162	178	197	212	231	247	266	282	301	316
6,858	3,429	09	30	49	73	93	117	137	161	181	205	225	249	269	293	313	337	357	381	401
7,620	3,810	10	36	61	91	115	145	169	199	224	253	278	307	332	362	386	416	440	470	495
8,382	4,191	11	44	74	110	139	175	205	241	271	306	336	372	402	437	467	503	533	569	634
9,144	4,572	12	53	88	131	166	209	244	287	322	365	400	443	478	521	556	599	634	677	712
9,906	4,953	13	62	103	153	195	245	286	336	378	428	470	519	561	611	653	703	744	794	836
10,668	5,334	14	72	120	178	226	284	332	390	438	496	545	602	651	709	757	815	863	921	969
11,430	5,715	15	82	137	204	259	326	381	448	503	570	625	692	747	813	869	935	991	1,057	1,113
12,192	6,096	16	93	156	232	295	371	434	509	573	648	711	787	850	926	989	1,064	1,127	1,203	1,266
12,954	6,477	17	105	177	262	333	419	490	575	646	732	803	888	959	1,045	1,116	1,201	1,273	1,358	1,429
13,716	6,858	18	118	198	294	374	469	549	645	725	820	900	996	1,076	1,171	1,251	1,347	1,427	1,522	1,602
14,478	7,239	19	132	221	327	416	523	612	718	807	914	1,003	1,110	1,199	1,305	1,394	1,501	1,590	1,696	1,785
15,240	7,620	20	146	244	363	461	579	678	796	895	1,013	1,111	1,229	1,328	1,446	1,545	1,663	1,761	1,880	1,978
16,002	8,001	21	161	269	400	508	639	747	878	986	1,117	1,225	1,355	1,464	1,594	1,703	1,833	1,942	2,072	2,181
16,764	8,382	22	177	296	439	558	701	820	963	1,082	1,225	1,345	1,488	1,607	1,750	1,869	2,012	2,131	2,274	2,394
17,526	8,763	23	193	323	480	610	766	896	1,053	1,183	1,339	1,470	1,626	1,756	1,913	2,043	2,199	2,329	2,486	2,616
18,288	9,144	24	210	352	522	664	834	976	1,146	1,288	1,458	1,600	1,770	1,912	2,083	2,224	2,395	2,536	2,707	2,848
19,050	9,525	25	228	382	567	721	905	1,059	1,244	1,398	1,582	1,736	1,921	2,075	2,260	2,414	2,598	2,752	2,937	3,091
19,812	9,906	26	247	413	613	779	979	1,146	1,345	1,512	1,712	1,878	2,078	2,244	2,444	2,611	2,810	2,977	3,177	3,343
20,574	10,287	27	266	445	661	840	1,056	1,235	1,451	1,630	1,846	2,025	2,241	2,420	2,636	2,815	3,031	3,210	3,426	3,605
21,336	10,668	28	286	479	711	904	1,136	1,329	1,560	1,753	1,985	2,178	2,410	2,603	2,895	3,028	3,259	3,452	3,684	3,877
22,098	11,049	29	307	514	762	970	1,218	1,425	1,674	1,881	2,129	2,336	2,585	2,792	3,041	3,248	3,496	3,703	3,952	
22,860	11,430	30	328	550	816	1,038	1,304	1,525	1,791	2,013	2,279	2,500	2,766	2,988	3,254	3,474	3,711	3,995		
23,622	11,811	31	351	587	871	1,108	1,392	1,629	1,913	2,149	2,433	2,670	2,954	3,190	3,474	3,711	3,995			
24,384	12,192	32	374	626	928	1,181	1,483	1,735	2,038	2,290	2,593	2,845	3,147	3,400	3,702	3,954				
25,146	12,573	33	397	665	987	1,255	1,577	1,845	2,167	2,435	2,757	3,025	3,347	3,615	3,937					
25,908	12,954	34	422	706	1,048	1,333	1,674	1,959	2,301	2,585	2,927	3,212	3,553	3,838						
26,670	13,335	35	447	749	1,111	1,412	1,774	2,076	2,438	2,740	3,102	3,403	3,765	4,067						
27,432	13,716	36	473	792	1,175	1,494	1,877	2,196	2,579	2,898	3,281	3,601	3,984							
28,194	14,097	37	499	837	1,241	1,578	1,983	2,320	2,725	3,062	3,466	3,803								
28,956	14,478	38	527	882	1,309	1,665	2,091	2,447	2,874	3,229	3,656	4,012								
29,718	14,859	39	555	929	1,379	1,754	2,203	2,578	3,027	3,402	3,851									
30,480	15,240	40	584	978	1,451	1,845	2,317	2,711	3,184	3,578	4,051									

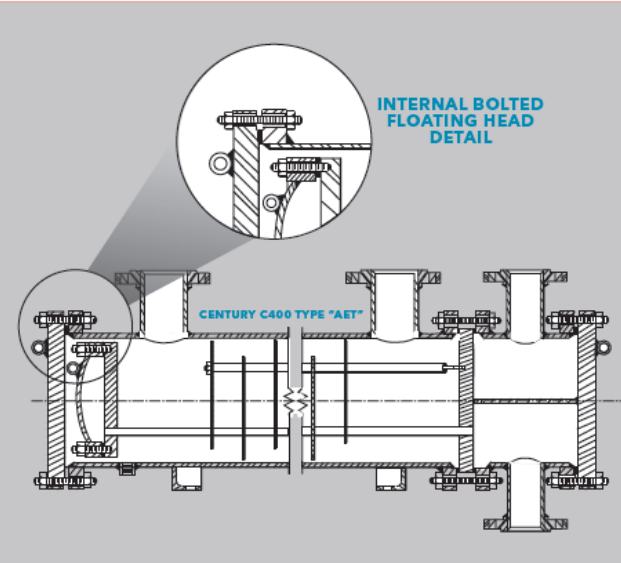
fuentes: Tankeros S.L.

11.6 Intercambiador de calor de coraza y haz de tubos y reactor catalítico de lecho empaquetado

Debido a las similitudes en su diseño, el intercambiador de calor de coraza y haz de tubos y el reactor catalítico de lecho empaquetado se compran con la misma estructura, únicamente se diferencian en la presencia de catalizador en los tubos del reactor.

Heat Exchangers

CENTURY® C400



CENTURY C400 TYPE "AET"

DETAILS

- Straight tube, internally bolted floating head, pull-through construction with removable bundle.
- Multi-pass tube arrangements for maximum efficiency over a wide variety of tube side flow volumes.
- Standard shell sizes from 8 inches through 42 inches in diameter; custom designs up to 60 inches in diameter.

CENTURY® C400 STANDARD DESIGN CAPABILITIES

	DESIGN PRESSURE	DESIGN TEMPERATURE
Tube Side	75 - 450 psi 517 - 3,102 kPa	-20 - 650°F -29 - 343°C
Shell Side	75 - 300 psi 517 - 2,068 kPa	-20 - 650°F -29 - 343°C

Note: Custom designs to 3,600 psi/24,816 kPa and 1000°F/538°C, depending on shell diameter and design temperature.

ADVANTAGES:

- Bundle can be removed from shell for cleaning or maintenance.
- Lack of packed joints allows for handling volatile or toxic fluids.
- Large bundle entrance area.
- Allows for differential thermal expansion between shell and tubes.
- Bundle can be pulled without removing floating head cover.

LIMITATIONS:

- Less heat transfer surface area given shell and tube size than other removable bundle designs.
- The costliest of all basic types of heat exchanger designs.
- Gasket leak detection not possible on floating head.

TEMA Type AET or BET.
 Can meet TEMA "B", "C" and "R", ASME Section VIII Div. 1 and ASME Section III "N" stamp.

11.7 Compresor de etanol

► Methane/Biomethane (CH₄)

Numerous countries are involved in the development of biomethane (renewable energy) for reinjection and distribution. When upgraded to gas network specifications, methane/biomethane can be injected in the gas grid for use by customers. Another widespread application for the gas is fuel for cars, buses and truck refueling stations. Atlas Copco has an extensive experience in the supply of high-pressure compressors and CNG stations for these applications.

- CNG fueling stations
- Reinjection
- Cogeneration
- Gas transfer
- Gas storage
- Generating plants



Natural gas bus & car fueling stations

The Atlas Copco BBR/FBR range is greatly appreciated by our customers especially in Asia where numerous bus and car CNG fueling stations are in operation. These BBR/FBR units can be supplied with electric or gas engines. The Variable Inlet Pressure (VIP) model is extremely efficient and offers energy savings when used with high flow rates at low inlet pressures. It matches the trailer pressure and avoids costly regulation and re-compression.

CH ₄										
MODEL	Piston	Screw	Oil-free	Oil-lubricated	Inlet pressure		Discharge pressure		Flow	
					(bar A)	(psi A)	(bar G)	(psi G)	(m ³ /h)	(cfm)
GG		X		X	1.1-2	16-29	7-17	101-232	<920	542
HV/HN	X		X		1-40	14.5-580	5-100	73-1450	160-10700	95-6300
CJ	X			X	1-19	14.5-280	<350	<5100	<910	<535
CT	X			X	1-19	14.5-280	<350	<5100	<1700	<1000
DM	X			X	39	565	<300	<4355	30-225	18-132
FBR/BBR	X			X	1.5-60	22-885	250-310	3600-4500	410-7000	240-4120
B/D	X			X	1.5-3	22-45	17-500	250-7300	40-510	25-300

11.8 Compresor de vapor de agua

Atlas Copco Serving the industrial gas industry

Atlas Copco is an industrial group with world-leading positions in compressors, construction and mining equipment, power tools and assembly systems. Established in 1873, the company is based in Stockholm, Sweden, and has a global reach spanning more than 170 countries. At Atlas Copco, compression is not a word, it is a passion. Based on its strength and worldwide success in oil-free screw technology, Atlas Copco broadened its scope of technologies to serve more customers worldwide for new applications. To this purpose, Atlas Copco integrated world-renowned specialists, each of them with a strong reputation, healthy brand and in-depth customer commitment, in line with Atlas Copco's own vision.

With a comprehensive product offering, obtained through strategic acquisitions, Atlas Copco gained the experience and expertise to be a trusted partner for the industrial gas industry. We supply reliable equipment for many challenging applications. We know our business and we know yours. When we work with our customers, we have one goal in mind: sustainable productivity.

Based on our company roots in compression technology, strengthened by the acquisition of some leading manufacturers for high-pressure industrial gas compressors and world leaders in the fields of natural gas and hydrogen vehicle refueling systems, we have built our expertise and expanded our portfolio. We have grown to become a premier, reliable end-to-end partner for industrial gas.

Completing the offer

Atlas Copco also provides compressors for gas and process applications, air and nitrogen purification applications. In addition, a wide range of filters completes the Atlas Copco portfolio.

Atlas Copco Gas & Process



Oil-free centrifugal air compressors ZH/HA/H

Power	Electric, steam turbine up to 2750 kW (3690 hp)
Inlet pressure	Atmospheric
Discharge pressure	Up to 13 bar (190 psi)
Flow range	Up to 450 m ³ /min (16000 cfm)
Applications	Instrument air, petrochemical & hydrocarbon process air





Oil-free centrifugal gas compressors SC/TP/CT/Compander

Power	Electric, steam turbine up to 40 MW
Inlet pressure	40-80 bar
Discharge pressure	Up to 200 bar (2900 psi)
Flow range	Up to 6800 m ³ /min (250000 cfm)
Applications	Oxygen service, fuel gas boosting, petrochemical industry, process industry, air separation, LNG transport

12 ANEJO 12. HOJAS DE SEGURIDAD

12.1 Etanol










ETANOL (ANHIDRO)		ICSC: 0044 Octubre 2000	
Alcohol etílico			
CAS:	64-17-5	CH₃CH₂OH / C₂H₆O	
RTECS:	KQ6300000	Masa molecular: 46.1	
NU:	1170		
CE Índice Anexo I:	603-002-00-5		
CE / EINECS:	200-578-6		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono,
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN			
Inhalación	Tos. Dolor de cabeza. Fatiga. Somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemazón.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Confusión. Vértigo. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Eliminar el residuo con agua abundante.		Clasificación UE Símbolo: F R: 11 S: (2)-7-16 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1170. Código NFPA: H 0; F 3; R 0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	
IPCS International Programme on Chemical Safety	  		 
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005			

ETANOL (ANHIDRO)	ICSC: 0044
-------------------------	-------------------

DATOS IMPORTANTES	
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS: El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 1000 ppm (como TWA), A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004). MAK: 500 ppm; 960 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(2), Cancerígeno: categoría 5, Mutágeno: categoría 5, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración. Ver Notas.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	
<p>Punto de ebullición: 79 °C Punto de fusión: -117 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20 °C: 5,8 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,03 Punto de inflamación: 13 °C c.c. Temperatura de autoignición: 363 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.3-19 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.32</p>
DATOS AMBIENTALES	
NOTAS	
<p>El consumo de etanol durante el embarazo puede afectar al feto. La ingesta crónica de etanol puede causar cirrosis hepática. El punto de inflamación de la disolución acuosa al 50% es 24 °C. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.</p>	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2013):</p> <p>VLA-EC: 1000 ppm; 1910 mg/m³</p> <p>Notas: Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida.</p>	
Nota legal	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>
© IPCS, CE 2005	

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empacado








12.2 Acetaldehído

ACETALDEHIDO		ICSC: 0009 Noviembre 2003	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	75-07-0 AB1925000 1089 605-003-00-6 200-836-8	Aldehído acético Etanal Etil aldehído C ₂ H ₄ O / CH ₃ CHO Masa molecular: 44.1	 
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con superficies calientes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
Inhalación	Tos.	Ventilación. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Diarrea. Vértigo. Náuseas. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
¡Evacuar la zona de peligro! Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: filtro para gases y vapores orgánicos adaptado a la concentración de la sustancia en el aire. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. Eliminar el vapor con agua pulverizada. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. Clasificación UE Símbolo: F+, Xn R: 12-36/37-40 S: (2-)16-33-36/37 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: I	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1089 Código NFPA: H2; F4; R2:		A prueba de incendio. Separado de materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Enfrío. Mantener en la oscuridad. Almacenar solamente si está estabilizado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005			
      			

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empacado

ACETALDEHIDO		ICSC: 0009
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Gas o líquido incoloro, de olor acre.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia puede formar peróxidos explosivos en contacto con el aire. La sustancia puede polimerizar, bajo la influencia de ácidos e hidróxidos alcalinos bajo la presencia de trazas metálicas (hierro), con peligro de incendio o explosión. La sustancia es un agente reductor fuerte y reacciona violentamente con oxidantes, ácidos fuertes, halógenos y aminas, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 25 ppm (Valor techo); A3 (cancerígeno animal); (ACGIH 2003). MAK: 50 ppm, 91 mg/m³; Categoría de limitación de pico: I(1); Cancerígeno: categoría 5; Riesgo para el embarazo: grupo C; Mutágeno: categoría 5 (DFG 2009).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita levemente los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio, dando lugar a alteraciones del tejido. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 20,2°C Punto de fusión: -123°C Densidad relativa (agua = 1): 0,78 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 101 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,5</p>	<p>Punto de inflamación: -38°C c.c. Temperatura de autoignición: 185°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 4-60 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0,63</p>	
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. La adición de estabilizadores o inhibidores puede influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia; consultar a un experto. Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio). Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2010: ver Límites de exposición, Ingestión- Primeros Auxilios.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-EC: 25 ppm; 46 mg/m³</p>		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2005		

12.3 Hidrógeno

HIDROGENO		ICSC: 0001 Marzo 2002	
CAS:	1333-74-0	H₂	
RTECS:	MW8900000	Masa molecular: 2.0	
NU:	1049		
CE Índice Anexo I:	001-001-00-9		
CE / EINECS:	215-605-7		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilídense herramientas manuales no generadoras de chispas. No manipular las botellas con las manos grasientas.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICIÓN			
Inhalación	Asfixia.	Sistema cerrado y ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Congelación grave.	Guantes aislantes del frío.	Proporcionar asistencia médica.
Ojos		Gafas de protección de seguridad.	
Ingestión			
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Eliminar toda fuente de ignición Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar el vapor con agua pulverizada.		Clasificación UE Símbolo: F+ R: 12 S: (2-)9-16-33 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.1	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1049 Código NFPA: H 0; F 4; R 0;		A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco.	
<p>IPCS International Programme on Chemical Safety</p>       <p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005</p>			

Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empacado

HIDROGENO		ICSC: 0001
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Gas comprimido inodoro e incoloro.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS: El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. El gas es más ligero que el aire.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con aire, oxígeno, halógenos y oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión. Los metales catalizadores tales como el platino o el níquel aumentan este tipo de reacciones.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: asfixiante simple (ACGIH 2002).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: Asfixiante simple. Véanse Notas.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: -253 °C Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.07</p>	<p>Punto de inflamación: gas inflamable Temperatura de autoignición: 500-571 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 4-76</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. Medir concentraciones de hidrógeno con un detector de gas adecuado (un detector de gas inflamable normal no es adecuado).</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>Notas: Asfixiante simple</p>		
Nota legal	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2005		

12.4 Vapor de agua

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: **3175**
Versión: **2.1 es**
Reemplaza la versión de: 15.03.2017
Versión: (2)

fecha de emisión: 29.10.2015
Revisión: 24.05.2018

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

1.1 Identificador del producto

Identificación de la sustancia	Agua
Número de artículo	3175
Número de registro (REACH)	Esta información no está disponible.
Número CE	231-791-2
Número CAS	7732-18-5

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

Usos identificados:	producto químico de laboratorio uso analítico y de laboratorio
----------------------------	---

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Alemania

Teléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0
Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Sitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad : Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente) : sicherheit@carlroth.de

1.4 Teléfono de emergencia

Servicios de información para casos de emergencia **Poison Centre Munich: +49/(0)89 19240**

1.5 Importador

Teléfono:
Fax:
Sitio web:

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Esta sustancia no reúne los criterios para ser clasificada conforme al Reglamento no 1272/2008/CE.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

no es necesario

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

Palabra de advertencia no es necesario

2.3 Otros peligros

No hay información adicional.

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Nombre de la sustancia	Agua
Número CE	231-791-2
Número CAS	7732-18-5
Fórmula molecular	H ₂ O
Masa molar	18,02 g/mol

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios



Notas generales

Quitar las prendas contaminadas.

En caso de inhalación

No hay peligro identificado.

En caso de contacto con la piel

No hay peligro identificado.

En caso de contacto con los ojos

No hay peligro identificado.

En caso de ingestión

No hay peligro identificado.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

A la fecha no se conocen síntomas y efectos

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

ninguno

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción



Medios de extinción apropiados

El producto en sí no es combustible

Medios de extinción no apropiados

sin límite

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No combustible.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

No son necesarias medidas especiales.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No es necesario.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Consejos sobre la manera de contener un vertido

Cierre de desagües. No son necesarias medidas especiales.

Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido

Limpiar con materiales absorbentes (p.ej. paño, vellón).

Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas

Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.

6.4 Referencia a otras secciones

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5. Equipo de protección personal: véase sección 8. Materiales incompatibles: véase sección 10. Consideraciones relativas a la eliminación: véase sección 13.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

No son necesarias medidas especiales.

Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo

Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

Sustancias o mezclas incompatibles

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

Atención a otras indicaciones

• **Requisitos de ventilación**

Utilización de ventilación local y general.

• **Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento**

Temperatura de almacenaje recomendada: 15 – 25 °C.

7.3 Usos específicos finales

No hay información disponible.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Valores límites nacionales

Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)

No se dispone de datos.

8.2 Controles de exposición

Medidas de protección individual (equipo de protección personal)

Protección de los ojos/la cara



Llevar gafas de protección contra salpicaduras.

Protección de la piel



• **protección de las manos**

Protección de mano no es necesaria.

Protección respiratoria



Normalmente no es necesaria protección respiratoria personal.

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto

Estado físico	líquido (fluido)
Color	incolor
Olor	inodoro
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	Esta información no está disponible.
Punto de fusión/punto de congelación	0 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	100 °C a 1.013 hPa
Punto de inflamación	no determinado
Tasa de evaporación	no existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	no relevantes (fluido)
<u>Límites de explosividad</u>	
• límite inferior de explosividad (LIE)	esta información no está disponible
• límite superior de explosividad (LSE)	esta información no está disponible
Límites de explosividad de nubes de polvo	no relevantes
Presión de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad	1 g/cm ³ a 20 °C
Densidad de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad aparente	No es aplicable
Densidad relativa	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
<u>Solubilidad(es)</u>	
Hidrosolubilidad	miscible en cualquier proporción
<u>Coefficiente de reparto</u>	
n-octanol/agua (log KOW)	Esta información no está disponible.
Temperatura de auto-inflamación	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
Temperatura de descomposición	no existen datos disponibles
Viscosidad	
• viscosidad dinámica	0,952 mPa s a 20 °C
Propiedades explosivas	No se clasificará como explosiva
Propiedades comburentes	ninguno

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

9.2 Otros datos

No hay información adicional.

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Este material no es reactivo bajo condiciones ambientales normales.

10.2 Estabilidad química

El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacciones fuertes con: Metales alcalinos, Carburo, Ácido fuerte

10.4 Condiciones que deben evitarse

No se conocen condiciones particulares que deban evitarse.

10.5 Materiales incompatibles

No hay información adicional.

10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

No se clasificará como toxicidad aguda.

Corrosión o irritación cutánea

No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.

Lesiones oculares graves o irritación ocular

No se clasificará como causante de lesiones oculares graves o como irritante ocular.

Sensibilización respiratoria o cutánea

No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

Resumen de la evaluación de las propiedades CMR

No se clasificará como mutágeno en células germinales, carcinógeno ni tóxico para la reproducción

• Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).

• Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición repetida).

Peligro por aspiración

No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas

• En caso de ingestión

no se dispone de datos

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

• **En caso de contacto con los ojos**

no se dispone de datos

• **En caso de inhalación**

no se dispone de datos

• **En caso de contacto con la piel**

no se dispone de datos

Otros datos

Ninguno

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad

según 1272/2008/CE: No se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático.

12.2 Procesos de degradación

Métodos para determinar la desintegración no se pueden aplicar para materiales inorgánicos.

12.3 Potencial de bioacumulación

No se dispone de datos.

12.4 Movilidad en el suelo

No se dispone de datos.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

No se dispone de datos.

12.6 Otros efectos adversos

No se dispone de datos.

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos



Contactar al eliminador aprobado correspondiente para una eliminación de residuos.

Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales

No tirar los residuos por el desagüe.

Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales

No tirar los residuos por el desagüe.

13.2 Disposiciones sobre prevención de residuos

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso.

13.3 Observaciones

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Por favor considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

- | | | |
|------|--|--|
| 14.1 | Número ONU | (no está sometido a las reglamentaciones de transporte) |
| 14.2 | Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas | no relevantes |
| 14.3 | Clase(s) de peligro para el transporte
Clase | no relevantes
- |
| 14.4 | Grupo de embalaje | no relevantes |
| 14.5 | Peligros para el medio ambiente | ninguno (no peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas) |
| 14.6 | Precauciones particulares para los usuarios
No hay información adicional. | |
| 14.7 | Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC
El transporte a granel de la mercancía no está previsto. | |
| 14.8 | Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas <ul style="list-style-type: none">• Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ADN)
No está sometido al ADR, RID y al ADN.• Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)
No está sometido al IMDG.• Organización de Aviación Civil Internacional (OACI-IATA/DGR)
No está sometido a la OACI-IATA. | |

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

- 15.1 **Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**
- Disposiciones pertinentes de la Unión Europea (UE)**
- **Reglamento 649/2012/UE relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos (PIC)**
No incluido en la lista.
 - **Reglamento 1005/2009/CE sobre las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO)**
No incluido en la lista.
 - **Reglamento 850/2004/CE sobre contaminantes orgánicos persistentes (POP)**
No incluido en la lista.
 - **Restricciones conforme a REACH, Anexo XVII**
no incluido en la lista
 - **Lista de sustancias sujetas a autorización (REACH, Anexo XIV)**
no incluido en la lista

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

• **Directiva Seveso**

2012/18/UE (Seveso III)			
No	Sustancia peligrosa/categorías de peligro	Cantidades umbral (en toneladas) de aplicación de los requisitos de nivel inferior e superior	Notas
	no asignado		

Directiva 2011/65/UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (RoHS) - Anexo II

no incluido en la lista

Reglamento 166/2006/CE relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes (PRTR)

no incluido en la lista

Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

no incluido en la lista

Catálogos nacionales

La sustancia es enumerada en los siguientes inventarios nacionales:

País	Catálogos nacionales	Estatuto
AU	AICS	la sustancia es enumerada
CA	DSL	la sustancia es enumerada
CN	IECSC	la sustancia es enumerada
EU	ECSI	la sustancia es enumerada
EU	REACH Reg.	la sustancia es enumerada
JP	CSCL-ENCS	la sustancia es enumerada
KR	KECI	la sustancia es enumerada
MX	INSQ	la sustancia es enumerada
NZ	NZIoC	la sustancia es enumerada
PH	PICCS	la sustancia es enumerada
TW	TCSI	la sustancia es enumerada
US	TSCA	la sustancia es enumerada

Leyenda

AICS	Australian Inventory of Chemical Substances
CSCL-ENCS	List of Existing and New Chemical Substances (CSCL-ENCS)
DSL	Domestic Substances List (DSL)
ECSI	CE inventario de sustancias (EINECS, ELINCS, NLP)
IECSC	Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China
INSQ	Inventario Nacional de Sustancias Químicas
KECI	Korea Existing Chemicals Inventory
NZIoC	New Zealand Inventory of Chemicals
PICCS	Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances
REACH Reg.	Sustancias registradas REACH
TCSI	Taiwan Chemical Substance Inventory
TSCA	Ley de Control de Sustancias Tóxicas

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: 3175

15.2 Evaluación de la seguridad química

No se ha realizado una evaluación de la seguridad química de esta sustancia.

SECCIÓN 16: Otra información

Abreviaturas y los acrónimos

Abrev.	Descripciones de las abreviaturas utilizadas
ADN	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías Navegables Interiores)
ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera)
CAS	Chemical Abstracts Service (número identificador único carente de significado químico)
CLP	Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas
CMR	Carcinógeno, Mutágeno o tóxico para la Reproducción
DGR	Dangerous Goods Regulations (reglamento para el transporte de mercancías peligrosas, véase IATA/DGR)
EINECS	European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas)
ELINCS	European List of Notified Chemical Substances (lista europea de sustancias químicas notificadas)
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
IATA/DGR	Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)
MARPOL	el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (abr. de "Marine Pollutant")
mPmB	muy persistente y muy bioacumulable
NLP	No-Longer Polymer (ex-polímero)
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
PBT	Persistente, Bioacumulable y Tóxico
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)
RID	Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Reglamento referente al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas)
SGA	"Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas" elaborado por Naciones Unidas

Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos

- Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2015/830/UE
- Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP, UE SGA)
- Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)
- Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)

Frases pertinentes (código y texto completo como se expone en el capítulo 2 y 3)

no relevantes.

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Agua desmineralizada, no estéril

número de artículo: **3175**

Cláusula de exención de responsabilidad

La información en ésta hoja de datos de seguridad corresponden al leal saber de nuestros conocimiento el día de impresión. Las informaciones deben de ser puntos de apoyo para un manejo seguro de productos mencionados en esta hoja de seguridad para el almacenamiento, elaboración, transporte y eliminación. Las indicaciones no se pueden traspasar a otros productos. Mientras el producto sea mezclado o elaborado con otros materiales, las indicaciones de esta hoja de seguridad no se pueden traspasar así al agente nuevo.

12.5 DOWTHERM-A



Material Safety Data Sheet Dow Chemical Canada ULC

Product Name: DOWTHERM* A Heat Transfer Fluid

Issue Date: 2014.01.21
Print Date: 23 Jan 2014

Dow Chemical Canada ULC encourages and expects you to read and understand the entire (M)SDS, as there is important information throughout the document. We expect you to follow the precautions identified in this document unless your use conditions would necessitate other appropriate methods or actions.

1. Product and Company Identification

Product Name
DOWTHERM* A Heat Transfer Fluid

COMPANY IDENTIFICATION
Dow Chemical Canada ULC
A Subsidiary of The Dow Chemical Company
Suite 2100
450 - 1st Street S.W
Calgary, AB T2P 5H1
Canada

For MSDS updates and Product Information: 800-258-2436

Prepared By: Prepared for use in Canada by EH&S, Hazard Communications.
Revision: 2014.01.21
Print Date: 1/23/2014

Customer Information Number: 800-258-2436
SDSQuestion@dow.com

EMERGENCY TELEPHONE NUMBER

24-Hour Emergency Contact: (989) 636-4400
Local Emergency Contact: 989-636-4400

2. Hazards Identification

Emergency Overview

Color: Colorless to yellow

Physical State: Liquid.

Odor: Aromatic

Hazards of product:

CAUTION! May cause respiratory tract irritation. Aspiration hazard. Can enter lungs and cause damage. Keep upwind of spill. Highly toxic to fish and/or other aquatic organisms.

®(TM)*Trademark

Potential Health Effects

Eye Contact: May cause slight temporary eye irritation.

Skin Contact: Repeated contact may cause moderate skin irritation with local redness.

Skin Absorption: Prolonged skin contact is unlikely to result in absorption of harmful amounts.

Inhalation: Excessive exposure may cause irritation to upper respiratory tract (nose and throat) and lungs. May cause headache and nausea due to odor.

Ingestion: Low toxicity if swallowed. Small amounts swallowed incidentally as a result of normal handling operations are not likely to cause injury; however, swallowing larger amounts may cause injury.

Aspiration hazard: Aspiration into the lungs may occur during ingestion or vomiting, causing lung damage or even death due to chemical pneumonia.

Effects of Repeated Exposure: The data presented are for the following material: Diphenyl oxide (vapour): The data presented are for the following material: (biphenyl) In humans, effects have been reported on the following organs: Central nervous system. Liver. Peripheral nervous system. In animals, effects have been reported on the following organs: Gastrointestinal tract. Kidney. May cause nausea and vomiting. May cause abdominal discomfort or diarrhea.

Cancer Information: Contains component(s) which have caused cancer in laboratory animals.

However, biphenyl is not genotoxic, and the relevance of cancer to humans is unknown.

Birth Defects/Developmental Effects: Contains component(s) which, in laboratory animals, have been toxic to the fetus only at doses toxic to the mother.

Reproductive Effects: In animal studies on component(s), effects on reproduction were seen only at doses that produced significant toxicity to the parent animals.

3. Composition/information on ingredients

Component	CAS #	Amount W/W
Diphenyl oxide	101-84-8	73.0 %
Biphenyl	92-52-4	27.0 %

Amounts are presented as percentages by weight.

4. First-aid measures

Description of first aid measures

General advice: First Aid responders should pay attention to self-protection and use the recommended protective clothing (chemical resistant gloves, splash protection). If potential for exposure exists refer to Section 8 for specific personal protective equipment.

Inhalation: Move person to fresh air; if effects occur, consult a physician.

Skin Contact: Wash skin with plenty of water.

Eye Contact: Flush eyes thoroughly with water for several minutes. Remove contact lenses after the initial 1-2 minutes and continue flushing for several additional minutes. If effects occur, consult a physician, preferably an ophthalmologist.

Ingestion: Do not induce vomiting. Call a physician and/or transport to emergency facility immediately.

Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Aside from the information found under Description of first aid measures (above) and Indication of immediate medical attention and special treatment needed (below), any additional important symptoms and effects are described in Section 11: Toxicology Information.

Indication of immediate medical attention and special treatment needed

May cause asthma-like (reactive airways) symptoms. Bronchodilators, expectorants, antitussives and corticosteroids may be of help. If lavage is performed, suggest endotracheal and/or esophageal

control. Danger from lung aspiration must be weighed against toxicity when considering emptying the stomach. The decision of whether to induce vomiting or not should be made by a physician. No specific antidote. Treatment of exposure should be directed at the control of symptoms and the clinical condition of the patient.

Repeated excessive exposure may aggravate preexisting lung disease.

5. Fire Fighting Measures

Suitable extinguishing media

Water fog or fine spray. Dry chemical fire extinguishers. Carbon dioxide fire extinguishers. Foam. General purpose synthetic foams (including AFFF type) or protein foams are preferred if available. Alcohol resistant foams (ATC type) may function. Water fog, applied gently may be used as a blanket for fire extinguishment.

Extinguishing Media to Avoid: Do not use direct water stream. May spread fire.

Special hazards arising from the substance or mixture

Hazardous Combustion Products: During a fire, smoke may contain the original material in addition to combustion products of varying composition which may be toxic and/or irritating. Combustion products may include and are not limited to: Carbon monoxide. Carbon dioxide.

Unusual Fire and Explosion Hazards: Violent steam generation or eruption may occur upon application of direct water stream to hot liquids. Liquid mist of this product can burn. Flammable concentrations of vapor can accumulate at temperatures above flash point; see Section 9. Dense smoke is produced when product burns.

Advice for firefighters

Fire Fighting Procedures: Keep people away. Isolate fire and deny unnecessary entry. Do not use direct water stream. May spread fire. Burning liquids may be moved by flushing with water to protect personnel and minimize property damage. Water fog, applied gently may be used as a blanket for fire extinguishment. Contain fire water run-off if possible. Fire water run-off, if not contained, may cause environmental damage. Review the "Accidental Release Measures" and the "Ecological Information" sections of this (M)SDS.

Special Protective Equipment for Firefighters: Wear positive-pressure self-contained breathing apparatus (SCBA) and protective fire fighting clothing (includes fire fighting helmet, coat, trousers, boots, and gloves). Avoid contact with this material during fire fighting operations. If contact is likely, change to full chemical resistant fire fighting clothing with self-contained breathing apparatus. If this is not available, wear full chemical resistant clothing with self-contained breathing apparatus and fight fire from a remote location. For protective equipment in post-fire or non-fire clean-up situations, refer to the relevant sections.

See Section 9 for related Physical Properties

6. Accidental Release Measures

Personal precautions, protective equipment and emergency procedures: Keep upwind of spill. Ventilate area of leak or spill. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering the area. Refer to Section 7, Handling, for additional precautionary measures. Use appropriate safety equipment. For additional information, refer to Section 8, Exposure Controls and Personal Protection.

Environmental precautions: Prevent from entering into soil, ditches, sewers, waterways and/or groundwater. See Section 12, Ecological Information. Spills or discharge to natural waterways is likely to kill aquatic organisms.

Methods and materials for containment and cleaning up: Contain spilled material if possible. Small spills: Non-combustible material. Large spills: Collect in suitable and properly labeled containers. See Section 13, Disposal Considerations, for additional information.

7. Handling and Storage

Handling

General Handling: Avoid contact with skin and clothing. Avoid breathing vapor. Do not swallow. Wash thoroughly after handling. Keep container closed. Use with adequate ventilation. Spills of these organic materials on hot fibrous insulations may lead to lowering of the autoignition temperatures possibly resulting in spontaneous combustion. See Section 8, EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION.

Storage

Do not store in: Opened or unlabeled containers. Store in tightly closed container. See Section 10 for more specific information. Store away from incompatible materials. See STABILITY AND REACTIVITY section. Additional storage and handling information on this product may be obtained by calling your sales or customer service contact.

Shelf life: Use within 60 Months

8. Exposure Controls / Personal Protection

Exposure Limits

Component	List	Type	Value
Diphenyl oxide	CAD AB OEL	TWA Vapor.	7 mg/m3 1 ppm
	CAD AB OEL	STEL Vapor.	14 mg/m3 2 ppm
	CAD ON OEL	TWAEV	7 mg/m3 1 ppm
	CAD ON OEL	STEV	14 mg/m3 2 ppm
	ACGIH	TWA Vapor.	1 ppm
	ACGIH	STEL Vapor.	2 ppm
	CAD BC OEL	TWA Vapor.	1 ppm
	CAD BC OEL	STEL Vapor.	2 ppm
	OEL (QUE)	TWA Vapor.	7 mg/m3 1 ppm
	OEL (QUE)	STEL Vapor.	14 mg/m3 2 ppm
Biphenyl	CAD AB OEL	TWA	1.3 mg/m3 0.2 ppm
	CAD BC OEL	TWA	0.2 ppm
	CAD ON OEL	TWAEV	1.3 mg/m3 0.2 ppm
	ACGIH	TWA	0.2 ppm
	OEL (QUE)	TWA	1.3 mg/m3 0.2 ppm

Consult local authorities for recommended exposure limits.

Personal Protection

Eye/Face Protection: Use safety glasses (with side shields).

Skin Protection: Wear clean, body-covering clothing.

Hand protection: Use gloves chemically resistant to this material when prolonged or frequently repeated contact could occur. Examples of preferred glove barrier materials include: Polyethylene. Ethyl vinyl alcohol laminate ("EVAL"). Polyvinyl alcohol ("PVA"). Polyvinyl chloride ("PVC" or "vinyl"). Styrene/butadiene rubber. Viton. Examples of acceptable glove barrier materials include: Butyl rubber. Chlorinated polyethylene. Neoprene. Nitrile/butadiene rubber ("nitrile" or "NBR"). NOTICE: The selection of a specific glove for a particular application and duration of use in a workplace should also take into account all relevant workplace factors such as, but not limited to: Other chemicals which may be handled, physical requirements (cut/puncture protection, dexterity, thermal protection),

potential body reactions to glove materials, as well as the instructions/specifications provided by the glove supplier.

Respiratory Protection: Respiratory protection should be worn when there is a potential to exceed the exposure limit requirements or guidelines. If there are no applicable exposure limit requirements or guidelines, wear respiratory protection when adverse effects, such as respiratory irritation or discomfort have been experienced, or where indicated by your risk assessment process. The following should be effective types of air-purifying respirators: Organic vapor cartridge with a particulate pre-filter.

Ingestion: Avoid ingestion of even very small amounts; do not consume or store food or tobacco in the work area; wash hands and face before smoking or eating.

Engineering Controls

Ventilation: Use engineering controls to maintain airborne level below exposure limit requirements or guidelines. If there are no applicable exposure limit requirements or guidelines, use only with adequate ventilation. Local exhaust ventilation may be necessary for some operations.

9. Physical and Chemical Properties

Appearance	
Physical State	Liquid.
Color	Colorless to yellow
Odor	Aromatic
Odor Threshold	No test data available
pH	Not applicable
Melting Point	Not applicable to liquids
Freezing Point	12.0 °C <i>Literature</i>
Boiling Point (760 mmHg)	257 °C <i>Literature</i>
Flash Point - Closed Cup	113 °C <i>Closed Cup</i>
Evaporation Rate (Butyl Acetate = 1)	< 0.1 Estimated.
Flammability (solid, gas)	Not applicable to liquids
Flammable Limits In Air	Lower: 0.8 %(V) <i>Literature</i> Upper: 7.0 %(V) <i>Literature</i>
Vapor Pressure	0.025 mmHg @ 25 °C <i>Literature</i>
Vapor Density (air = 1)	>1.0 <i>Literature</i>
Specific Gravity (H ₂ O = 1)	1.050 - 1.075 25 °C/25 °C <i>Literature</i>
Solubility in water (by weight)	0.00138 % @ 15.6 °C <i>Literature</i>
Partition coefficient, n-octanol/water (log Pow)	No data available for this product.
Autoignition Temperature	599 °C <i>Literature</i>
Decomposition Temperature	No test data available
Kinematic Viscosity	3.51 mm ² /s @ 25 °C <i>Literature</i>
Molecular Weight	166.0 g/mol <i>Literature</i>
Percent Volatiles	no data available

10. Stability and Reactivity

Reactivity

No dangerous reaction known under conditions of normal use.

Chemical stability

Thermally stable at typical use temperatures.

Possibility of hazardous reactions

Polymerization will not occur.

Conditions to Avoid: Exposure to elevated temperatures can cause product to decompose.

Incompatible Materials: Avoid contact with oxidizing materials.

Hazardous decomposition products

Decomposition products depend upon temperature, air supply and the presence of other materials. Decomposition products can include trace amounts of: Benzene. Phenol.

11. Toxicological Information

Acute Toxicity

Ingestion

LD50, rat > 2,000 mg/kg

Dermal

The dermal LD50 has not been determined.

Inhalation

As product: The LC50 has not been determined.

Eye damage/eye irritation

May cause slight temporary eye irritation.

Skin corrosion/irritation

Repeated contact may cause moderate skin irritation with local redness.

Sensitization

Skin

No specific, relevant data available for assessment.

Respiratory

No specific, relevant data available for assessment.

Repeated Dose Toxicity

The data presented are for the following material: Diphenyl oxide (vapour): The data presented are for the following material: (biphenyl) In humans, effects have been reported on the following organs: Central nervous system. Liver. Peripheral nervous system. In animals, effects have been reported on the following organs: Gastrointestinal tract. Kidney. May cause nausea and vomiting. May cause abdominal discomfort or diarrhea.

Chronic Toxicity and Carcinogenicity

Contains component(s) which have caused cancer in laboratory animals. However, biphenyl is not genotoxic, and the relevance of cancer to humans is unknown.

Developmental Toxicity

Contains component(s) which, in laboratory animals, have been toxic to the fetus only at doses toxic to the mother. Contains component(s) which did not cause birth defects in laboratory animals.

Reproductive Toxicity

In animal studies on component(s), effects on reproduction were seen only at doses that produced significant toxicity to the parent animals.

Genetic Toxicology

In vitro genetic toxicity studies were negative. Animal genetic toxicity studies were negative.

Component Toxicology - Diphenyl oxide

Skin Absorption	LD50, rabbit, male and female > 7,940 mg/kg
------------------------	---

Component Toxicology - Biphenyl

Skin Absorption	LD50, rabbit > 5,010 mg/kg
------------------------	----------------------------

Component Toxicology - Biphenyl

Inhalation	LC50, rat > 3.47 mg/l
-------------------	-----------------------

Product Name: DOWTHERM* A Heat Transfer Fluid

Issue Date: 2014.01.21

12. Ecological Information

Toxicity

Material is highly toxic to aquatic organisms on an acute basis (LC50/EC50 between 0.1 and 1 mg/L in the most sensitive species tested).

Fish Acute & Prolonged Toxicity

LC50, Pimephales promelas (fathead minnow), 96 h: 9.6 mg/l

Aquatic Invertebrate Acute Toxicity

LC50, Daphnia magna (Water flea), static test, 48 h: 0.29 mg/l

Persistence and Degradability

Biodegradation under aerobic static laboratory conditions is high (BOD20 or BOD28/ThOD > 40%).

Biological oxygen demand (BOD):

BOD 5	BOD 10	BOD 20	BOD 28
62 %	76 %	81 %	

Chemical Oxygen Demand: 2.53 mg/g

Theoretical Oxygen Demand: 2.73 mg/mg

Bioaccumulative potential

Bioaccumulation: For the major component(s): Bioconcentration potential is moderate (BCF between 100 and 3000 or Log Pow between 3 and 5).

Mobility in soil

Mobility in soil: For the major component(s); Potential for mobility in soil is low (Koc between 500 and 2000).

13. Disposal Considerations

DO NOT DUMP INTO ANY SEWERS, ON THE GROUND, OR INTO ANY BODY OF WATER. All disposal practices must be in compliance with all Federal, State/Provincial and local laws and regulations. Regulations may vary in different locations. Waste characterizations and compliance with applicable laws are the responsibility solely of the waste generator. AS YOUR SUPPLIER, WE HAVE NO CONTROL OVER THE MANAGEMENT PRACTICES OR MANUFACTURING PROCESSES OF PARTIES HANDLING OR USING THIS MATERIAL. THE INFORMATION PRESENTED HERE PERTAINS ONLY TO THE PRODUCT AS SHIPPED IN ITS INTENDED CONDITION AS DESCRIBED IN MSDS SECTION: Composition Information. FOR UNUSED & UNCONTAMINATED PRODUCT, the preferred options include sending to a licensed, permitted: Recycler. Reclaimer. Incinerator or other thermal destruction device.

14. Transport Information

TDG Small container

Proper Shipping Name: ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S.

Technical Name: Mixture of diphenyl oxide and diphenyl

Hazard Class: 9 ID Number: UN3082 Packing Group: PG III

TDG Large container

Proper Shipping Name: ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S.

Technical Name: Mixture of diphenyl oxide and diphenyl

Product Name: DOWTHERM* A Heat Transfer Fluid

Issue Date: 2014.01.21

Hazard Class: 9 ID Number: UN3082 Packing Group: PG III

IMDG

Proper Shipping Name: ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S.

Technical Name: Mixture of diphenyl oxide and diphenyl

Hazard Class: 9 ID Number: UN3082 Packing Group: PG III

EMS Number: F-A,S-F

Marine pollutant: Yes

Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code

Product Name: DIPHENYL, DIPHENYL ETHER MIXTURES

Ship Type: 2

Pollution Category: X

ICAO/IATA

Proper Shipping Name: ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S.

Technical Name: Mixture of diphenyl oxide and diphenyl

Hazard Class: 9 ID Number: UN3082 Packing Group: PG III

Cargo Packing Instruction: 964

Passenger Packing Instruction: 964

15. Regulatory Information

US. Toxic Substances Control Act

All components of this product are on the TSCA Inventory or are exempt from TSCA Inventory requirements under 40 CFR 720.30

CEPA - Domestic Substances List (DSL)

All substances contained in this product are listed on the Canadian Domestic Substances List (DSL) or are not required to be listed.

Hazardous Products Act Information: CPR Compliance

This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the Canadian Controlled Products Regulations (CPR) and the MSDS contains all the information required by the CPR.

Hazardous Products Act Information: WHMIS Classification

D2B	Eye or Skin Irritant
-----	----------------------

Hazardous Products Act Information: Hazardous Ingredients

This product contains the following ingredients which are Controlled Products and/or are on the Ingredient Disclosure List (Canadian HPA Section 13 and 14).

Component	CAS #	Amount W/W
Diphenyl oxide	101-84-8	73.0%
Biphenyl	92-52-4	27.0%

16. Other Information

Hazard Rating System

NFPA	Health	Fire	Reactivity
	1	1	0

Recommended Uses and Restrictions

Identified uses

Product Name: DOWTHERM® A Heat Transfer Fluid

Issue Date: 2014.01.21

Intended as a heat transfer fluid for closed-loop systems. For industrial use only. We recommend that you use this product in a manner consistent with the listed use. If your intended use is not consistent with the stated use, please contact your sales or technical service representative.

Revision

Identification Number: 1007176 / 1002 / Issue Date 2014.01.21 / Version: 5.0

Most recent revision(s) are noted by the bold, double bars in left-hand margin throughout this document.

Legend

N/A	Not available
W/W	Weight/Weight
OEL	Occupational Exposure Limit
STEL	Short Term Exposure Limit
TWA	Time Weighted Average
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.
DOW IHG	Dow Industrial Hygiene Guideline
WEEL	Workplace Environmental Exposure Level
HAZ DES	Hazard Designation
VOL/VOL	Volume/Volume

Dow Chemical Canada ULC urges each customer or recipient of this (M)SDS to study it carefully and consult appropriate expertise, as necessary or appropriate, to become aware of and understand the data contained in this (M)SDS and any hazards associated with the product. The information herein is provided in good faith and believed to be accurate as of the effective date shown above. However, no warranty, express or implied, is given. Regulatory requirements are subject to change and may differ between various locations. It is the buyer's/user's responsibility to ensure that his activities comply with all federal, state, provincial or local laws. The information presented here pertains only to the product as shipped. Since conditions for use of the product are not under the control of the manufacturer, it is the buyer's/user's duty to determine the conditions necessary for the safe use of this product. Due to the proliferation of sources for information such as manufacturer-specific (M)SDSs, we are not and cannot be responsible for (M)SDSs obtained from any source other than ourselves. If you have obtained an (M)SDS from another source or if you are not sure that the (M)SDS you have is current, please contact us for the most current version.

12.6 Cromita de cobre

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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

Versión 5.1 Fecha de revisión 12.06.2014

Fecha de impresión 08.07.2019

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

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Cromito de cobre

Referencia : 209317

Marca : Aldrich

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

No. CAS : 12053-18-8

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

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

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

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

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

Sólidos comburentes (Categoría 2), H272

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

Toxicidad acuática aguda (Categoría 1), H400

Toxicidad acuática crónica (Categoría 3), H412

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

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

O	Comburente	R 8
Xi	Irritante	R37
N	Peligroso para el medio ambiente	R50

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

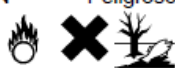
2.2 Elementos de la etiqueta

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

Pictograma



Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol:
Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empacado

Palabra de advertencia	Peligro
Indicación(es) de peligro	
H272	Puede agravar un incendio; comburente.
H335	Puede irritar las vías respiratorias.
H400	Muy tóxico para los organismos acuáticos.
H412	Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
Declaración(es) de prudencia	
P220	Mantener o almacenar alejado de la ropa/materiales combustibles.
P261	Evitar respirar el polvo.
P273	Evitar su liberación al medio ambiente.
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)
De acuerdo con la Directiva Europea 67/548/CEE, y sus enmiendas.	
Símbolo(s) de peligrosidad	O Comburente Xi Irritante N Peligroso para el medio ambiente
	
Frase(s) - R	
R 8	Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.
R37	Irrita las vías respiratorias.
R50	Muy tóxico para los organismos acuáticos.
Frase(s) - S	
S61	Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

2.3 Otros Peligros - ninguno(a)

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.2 Mezclas

Sinónimos	: Copperchromium oxide
Formula	: Cr ₂ Cu ₂ O ₅
Peso molecular	: 311,08 g/mol

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

Componente	Clasificación	Concentración
Copper chromite		
No. CAS	12053-18-8	Ox. Sol. 2; STOT SE 3; H272, H335
No. CE	235-000-1	
Copper oxide		
No. CAS	1317-38-0	Aquatic Acute 1; Aquatic Chronic 3; H400, H412
No. CE	215-269-1	

Ingrediente peligroso según la Directiva 1999/45/CE

Componente	Clasificación	Concentración
Copper chromite		
No. CAS	12053-18-8	O, Xi, R 8 - R37
No. CE	235-000-1	
Copper oxide		
No. CAS	1317-38-0	N, R50

No. CE	215-269-1		
--------	-----------	--	--

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

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales

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

Si es inhalado

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

En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos

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

Si es tragado

Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

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

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

sin datos disponibles

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

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

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Oxidos de cobre, Oxidos de cromo

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

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

5.4 Otros datos

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

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Utilícese equipo de protección individual. Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras. Evitar respirar el polvo.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

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

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

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

	Color: gris
b) Olor	sin datos disponibles
c) Umbral olfativo	sin datos disponibles
d) pH	sin datos disponibles
e) Punto de fusión/ punto de congelación	sin datos disponibles
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	sin datos disponibles
g) Punto de inflamación	no aplicable
h) Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	sin datos disponibles
k) Presión de vapor	sin datos disponibles
l) Densidad de vapor	sin datos disponibles
m) Densidad relativa	sin datos disponibles
n) Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
p) Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q) Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r) Viscosidad	sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	sin datos disponibles

9.2 Otra información de seguridad

Densidad aparente	800 kg/m ³
-------------------	-----------------------

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse

sin datos disponibles

10.5 Materiales incompatibles

Metales alcalinos, Metales en polvo, Agentes reductores, Aluminio, Sulfuro de hidrógeno (gas)

10.6 Productos de descomposición peligrosos

Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas

sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves

sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea

sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales

sin datos disponibles

Carcinogenicidad

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

Toxicidad para la reproducción

sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

sin datos disponibles

Peligro de aspiración

sin datos disponibles

Información Adicional

RTECS: sin datos disponibles

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

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad

sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad

sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación

sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo

sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

La valoración de PBT / mPmB no está disponible ya que la evaluación de la seguridad química no es necesaria / no se ha realizado

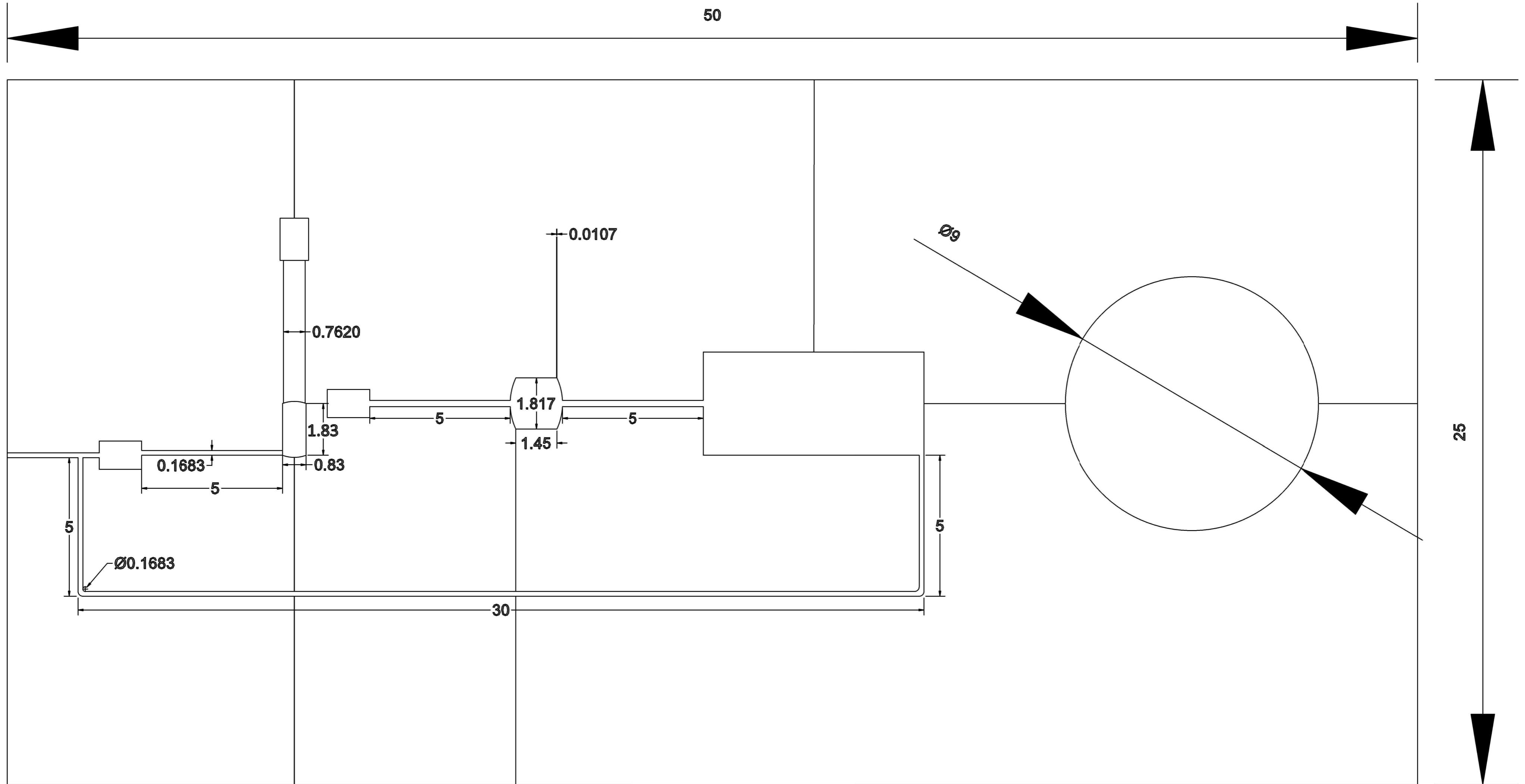
12.6 Otros efectos adversos

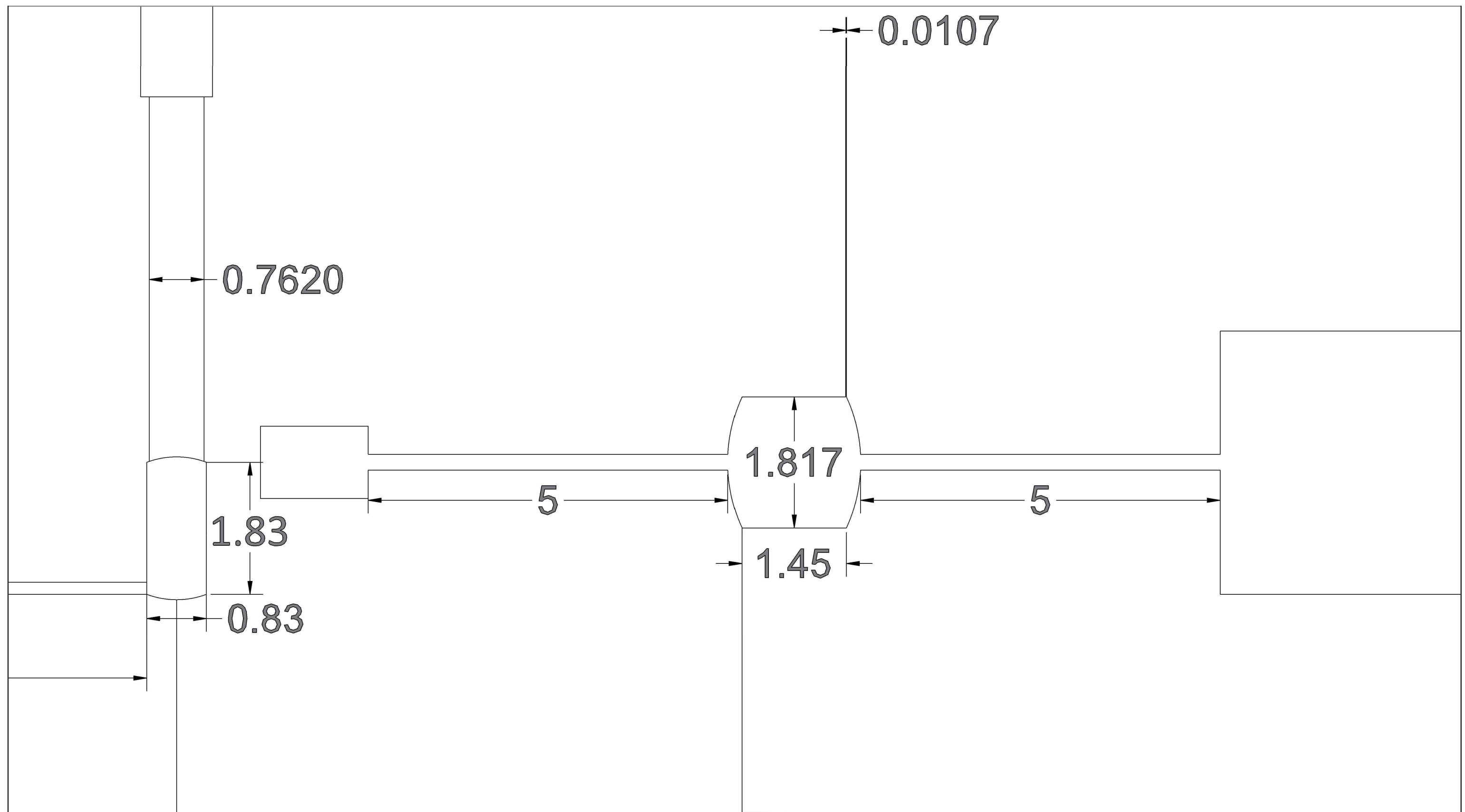
Muy tóxico para los organismos acuáticos.



4. PLANOS

ÍNDICE

1	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	2
2	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA AMPLIADA.....	3





	Carrera	EQ	Escala	E=1:50	Título		Distribución en planta - A
	Grupo	C	Uni. dimensional	m	Apellidos, nombre		
			Sistema		Mormeneo Segarra, Andrés		Nº plano

5. PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE

1	DISPOSICIONES GENERALES	3
1.1	OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES	3
1.2	CONTRATO DE OBRA	3
1.3	DOCUMENTACIÓN DEL CONTRATO DE OBRA.....	3
1.4	PROYECTO ARQUITECTÓNICO	3
1.5	REGLAMENTACIÓN URBANÍSTICA	4
1.6	FORMALIZACIÓN DEL CONTRATO DE OBRA	4
1.7	JURISDICCIÓN COMPETENTE	4
1.8	EJECUCIÓN DE LAS OBRAS Y RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA.....	5
1.9	ACCIDENTES DE TRABAJO	5
1.10	DAÑOS Y PERJUICIOS A TERCEROS	5
1.11	ANUNCIOS Y CARTELES.....	6
1.12	COPIA DE DOCUMENTOS	6
1.13	CAUSAS DE RESCISIÓN DEL CONTRATO DE OBRA	6
1.14	EFFECTOS DE RESCISIÓN DEL CONTRATO DE OBRA	7
2	DISPOSICIONES FACULTATIVAS	9
2.1	DEFINICIÓN, ATRIBUCIONES Y OBLIGACIONES DE LOS AGENTES DE LA EDIFICACIÓN	9
2.1.1	<i>El promotor</i>	9
2.1.2	<i>El proyectista</i>	9
2.1.3	<i>El constructor o contratista</i>	10
2.1.4	<i>El director de obra</i>	10
2.1.5	<i>El director de la ejecución de la obra</i>	10
2.1.6	<i>Los suministradores de productos</i>	10
2.2	OBLIGACIONES DE LOS AGENTES INTERVINIENTES	11
2.2.1	<i>El promotor</i>	11
2.2.2	<i>El proyectista</i>	12
2.2.3	<i>El constructor o contratista</i>	12
2.2.4	<i>El director de obra</i>	15
2.2.5	<i>El director de la ejecución de la obra</i>	16
2.2.6	<i>Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación</i>	18
2.2.7	<i>Los suministradores de productos</i>	19
3	DISPOSICIONES ECONÓMICAS	20
3.1	DEFINICIÓN.....	20
3.2	CONTRATO DE OBRA	20
3.3	CRITERIO GENERAL	21
3.4	FIANZAS	21
3.4.1	<i>Ejecución de trabajos con cargo a la fianza</i>	21
3.4.2	<i>Devolución de las fianzas</i>	21
3.4.3	<i>Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales</i>	21
3.5	DE LOS PRECIOS	22
3.5.1	<i>Presupuesto de Ejecución Material (PEM)</i>	22
3.5.2	<i>Reclamación de aumento de precios</i>	22
3.5.3	<i>De la revisión de los precios contratados</i>	22
3.5.4	<i>Acopio de materiales</i>	22
3.6	VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS	23
3.6.1	<i>Forma y plazos de abono de las obras</i>	23

3.6.2	<i>Relaciones valoradas y certificaciones</i>	23
3.7	INDEMNIZACIONES MUTUAS	24
3.7.1	<i>Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras</i>	24
3.7.2	<i>Demora de los pagos por parte del promotor</i>	24
3.8	PLAZOS DE EJECUCIÓN: PLANNING DE OBRA	24
3.9	LIQUIDACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS	25
3.10	LIQUIDACIÓN FINAL DE LA OBRA	25
4	DISPOSICIONES LEGALES	26
4.1	RECONOCIMIENTO DE MARCAS REGISTRADAS.....	26
4.2	DERECHOS DE AUTOR.....	26
5	CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	27
5.1	ESPECIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	27
5.2	ESPECIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN DE FONTANERÍA.....	27
5.3	INSTALACIÓN DE LA MAQUINARIA	28

1 DISPOSICIONES GENERALES

1.1 Objeto del Pliego de Condiciones

La finalidad de este Pliego es la de fijar los criterios de la relación que se establece entre los agentes que intervienen en las obras definidas en el presente proyecto y servir de base para la realización del contrato de obra entre el promotor y el contratista.

1.2 Contrato de obra

Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. A tal fin, el director de obra ofrece la documentación necesaria para la realización del contrato de obra.

1.3 Documentación del contrato de obra

Integran el contrato de obra los siguientes documentos, relacionados por orden de prelación atendiendo al valor de sus especificaciones, en el caso de posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra.
- El presente Pliego de Condiciones.
- La documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos generales y de detalle, memorias, anejos, mediciones y presupuestos.

En el caso de interpretación, prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos.

1.4 Proyecto Arquitectónico

El Proyecto Arquitectónico se define como el conjunto de documentos que definen y determinan las exigencias técnicas, funcionales y estéticas de las obras contempladas en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación". En él se justificará técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable.

Los documentos complementarios al Proyecto serán:

- Los planos.
- El Libro de Órdenes y Asistencias.
- El Programa de Control de Calidad de Edificación y su Libro de Control.
- El Estudio de Seguridad y Salud o Estudio Básico de Seguridad y Salud en las obras.
- El Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo, elaborado por cada contratista.
- Estudio de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición.
- Licencias y otras autorizaciones administrativas.

1.5 Reglamentación urbanística

La obra a construir se ajustará a todas las limitaciones del proyecto aprobado por los organismos competentes, especialmente las que se refieren al volumen, alturas, emplazamiento y ocupación del solar, así como a todas las condiciones de reforma del proyecto que pueda exigir la Administración para ajustarlo a las Ordenanzas, a las Normas y al Planeamiento Vigente.

1.6 Formalización del Contrato de Obra

Los Contratos se formalizarán, en general, mediante documento privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes.

El contratista, antes de la formalización del contrato de obra, dará también su conformidad con la firma al pie del Pliego de Condiciones, los Planos, Cuadro de Precios y Presupuesto General. Serán a cuenta del adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne el contratista.

1.7 Jurisdicción competente

En el caso de no llegar a un acuerdo cuando surjan diferencias entre las partes, ambas quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones derivadas de su contrato a las Autoridades y Tribunales Administrativos con arreglo a la legislación

vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción del Grao de Castellón, en Castellón de la Plana.

1.8 Ejecución de las obras y responsabilidad del contratista

Las obras se ejecutarán con estricta sujeción al proyecto que sirve de base al contrato y conforme a las instrucciones que la Dirección Facultativa de las obras diere al contratista.

El contratista es responsable de la ejecución de las obras y de todos los defectos que en la construcción puedan advertirse durante el desarrollo de las obras y hasta que se cumpla el plazo de garantía, en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto.

En consecuencia, quedará obligado a la demolición y reconstrucción de todas las unidades de obra con deficiencias o mal ejecutadas, sin que pueda servir de excusa el hecho de que la Dirección Facultativa haya examinado y reconocido la construcción durante sus visitas de obra, ni que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

1.9 Accidentes de trabajo

Es de obligado cumplimiento el "Real Decreto 1627/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción" y demás legislación vigente que, tanto directa como indirectamente, inciden sobre la planificación de la seguridad y salud en el trabajo de la construcción, conservación y mantenimiento de edificios.

1.10 Daños y perjuicios a terceros

El contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las colindantes o contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiere lugar, y de todos los daños y perjuicios que puedan ocasionarse o causarse en las operaciones de la ejecución de las obras.

Asimismo, será responsable de los daños y perjuicios directos o indirectos que se puedan ocasionar frente a terceros como consecuencia de la obra, tanto en ella como en sus alrededores, incluso los que se produzcan por omisión o negligencia del personal a su cargo, así como los que se deriven de los subcontratistas e industriales que intervengan en la obra.

Es de su responsabilidad mantener vigente durante la ejecución de los trabajos una póliza de seguros frente a terceros, en la modalidad de "Todo riesgo al derribo y la construcción", suscrita por una compañía aseguradora con la suficiente solvencia para la cobertura de los trabajos contratados. Dicha póliza será aportada y ratificada por el promotor, no pudiendo ser cancelada mientras no se firme el Acta de Recepción Provisional de la obra.

1.11 Anuncios y carteles

Sin previa autorización del promotor, no se podrán colocar en las obras ni en sus vallas más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y los exigidos por la policía local.

1.12 Copia de documentos

El contratista, a su costa, tiene derecho a sacar copias de los documentos integrantes del Proyecto.

1.13 Causas de rescisión del contrato de obra

Se considerarán causas suficientes de rescisión de contrato:

- La muerte o incapacidad del contratista.
- La quiebra del contratista.
- Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:
 - a. La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio del director de obra y, en cualquier caso, siempre que la variación del Presupuesto de Ejecución Material,

como consecuencia de estas modificaciones, represente una desviación mayor del 20%.

- b. Las modificaciones de unidades de obra, siempre que representen variaciones en más o en menos del 40% del proyecto original, o más de un 50% de unidades de obra del proyecto reformado.
- La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año y, en todo caso, siempre que por causas ajenas al contratista no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.
 - La suspensión de la iniciación de las obras por plazo superior a cuatro meses.
 - Que el contratista no comience los trabajos dentro del plazo señalado en el contrato.
 - La demora injustificada en la comprobación del replanteo.
 - La suspensión de las obras por plazo superior a ocho meses por parte del promotor.
 - El incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
 - El vencimiento del plazo de ejecución de la obra.
 - El desistimiento o el abandono de la obra sin causas justificadas.
 - La mala fe en la ejecución de la obra.

1.14 Efectos de rescisión del contrato de obra

La resolución del contrato dará lugar a la comprobación, medición y liquidación de las obras realizadas con arreglo al proyecto, fijando los saldos pertinentes a favor o en contra del contratista.

Si se demorase injustificadamente la comprobación del replanteo, dando lugar a la resolución del contrato, el contratista sólo tendrá derecho por todos los conceptos a una indemnización equivalente al 2% del precio de la adjudicación, excluidos los impuestos.

En el supuesto de desistimiento antes de la iniciación de las obras, o de suspensión de la iniciación de las mismas por parte del promotor por plazo superior a cuatro meses, el contratista tendrá derecho a percibir por todos los conceptos una indemnización del 3% del precio de adjudicación, excluidos los impuestos.

En caso de desistimiento una vez iniciada la ejecución de las obras, o de suspensión de las obras iniciadas por plazo superior a ocho meses, el contratista tendrá derecho por todos los conceptos al 6% del precio de adjudicación del contrato de las obras dejadas de realizar en concepto de beneficio industrial, excluidos los impuestos.

2 DISPOSICIONES FACULTATIVAS

2.1 Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación".

Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

Las definiciones y funciones de los agentes que intervienen en la edificación quedan recogidas a continuación:

2.1.1 El promotor

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Asume la iniciativa de todo el proceso de la edificación, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios.

Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparán también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la edificación.

2.1.2 El proyectista

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

2.1.3 El constructor o contratista

Es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra.

Cabe efectuar especial mención de que la ley señala como responsable explícito de los vicios o defectos constructivos al contratista general de la obra, sin perjuicio del derecho de repetición de éste hacia los subcontratistas.

2.1.4 El director de obra

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas, y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

2.1.5 El director de la ejecución de la obra

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo edificado. Para ello es requisito indispensable el estudio y análisis previo del proyecto de ejecución una vez redactado por el director de obra, procediendo a solicitarle, con antelación al inicio de las obras, todas aquellas aclaraciones, subsanaciones o documentos complementarios que, dentro de su competencia y atribuciones legales, estimare necesarios para poder dirigir de manera solvente la ejecución de las mismas.

2.1.6 Los suministradores de productos

Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción.

Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra, incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

2.2 Obligaciones de los agentes intervinientes

2.2.1 El promotor

Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él, para el presente proyecto, UBE.

Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra, al director de la ejecución de la obra y al contratista posteriores modificaciones del mismo que fueran imprescindibles para llevar a buen fin lo proyectado.

Elegir y contratar a los distintos agentes, con la titulación y capacitación profesional necesaria, que garanticen el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para realizar en su globalidad y llevar a buen fin el objeto de lo promovido, en los plazos estipulados y en las condiciones de calidad exigibles mediante el cumplimiento de los requisitos básicos estipulados para los edificios.

Gestionar y hacerse cargo de las preceptivas licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes que, de conformidad con la normativa aplicable, conlleva la construcción de edificios, la urbanización que procediera en su entorno inmediato, la realización de obras que en ellos se ejecuten y su ocupación.

Garantizar los daños materiales que el edificio pueda sufrir, para la adecuada protección de los intereses de los usuarios finales, en las condiciones legalmente establecidas, asumiendo la responsabilidad civil de forma personal e individualizada, tanto por actos propios como por actos de otros agentes por los que, con arreglo a la legislación vigente, se deba responder.

La suscripción obligatoria de un seguro, de acuerdo a las normas concretas fijadas al efecto, que cubra los daños materiales que ocasionen en el edificio el incumplimiento

de las condiciones de habitabilidad en tres años o que afecten a la seguridad estructural en el plazo de diez años, con especial mención a las viviendas individuales en régimen de autopromoción, que se registrarán por lo especialmente legislado al efecto.

Suscribir el acta de recepción final de las obras, una vez concluidas éstas, haciendo constar la aceptación de las obras, que podrá efectuarse con o sin reservas y que deberá abarcar la totalidad de las obras o fases completas. En el caso de hacer mención expresa a reservas para la recepción, deberán mencionarse de manera detallada las deficiencias y se deberá hacer constar el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados.

Entregar al adquirente y usuario inicial, en su caso, el denominado Libro del Edificio que contiene el manual de uso y mantenimiento del mismo y demás documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones competentes.

2.2.2 El proyectista

Redactar el proyecto por encargo del promotor, con sujeción a la normativa urbanística y técnica en vigor y conteniendo la documentación necesaria para tramitar tanto la licencia de obras y demás permisos administrativos -proyecto básico- como para ser interpretada y poder ejecutar totalmente la obra, entregando al promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por su colegio profesional.

Ostentar la propiedad intelectual de su trabajo, tanto de la documentación escrita como de los cálculos de cualquier tipo, así como de los planos contenidos en la totalidad del proyecto y cualquiera de sus documentos complementarios.

2.2.3 El constructor o contratista

Tener la capacitación profesional o titulación que habilita para el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor.

Organizar los trabajos de construcción para cumplir con los plazos previstos, de acuerdo al correspondiente Plan de Obra, efectuando las instalaciones provisionales y disponiendo de los medios auxiliares necesarios.

Elaborar, y exigir de cada subcontratista, un plan de seguridad y salud en el trabajo en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en el estudio o estudio básico, en función de su propio sistema de ejecución de la obra. En dichos planes se incluirán, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención propuestas, con la correspondiente justificación técnica, que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en el estudio o estudio básico.

Comunicar a la autoridad laboral competente la apertura del centro de trabajo en la que incluirá el Plan de Seguridad y Salud al que se refiere el "Real Decreto 1627/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción".

Adoptar todas las medidas preventivas que cumplan los preceptos en materia de Prevención de Riesgos laborales y Seguridad y Salud que establece la legislación vigente, redactando el correspondiente Plan de Seguridad y ajustándose al cumplimiento estricto y permanente de lo establecido en el Estudio de Seguridad y Salud, disponiendo de todos los medios necesarios y dotando al personal del equipamiento de seguridad exigibles, así como cumplir las órdenes efectuadas por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en la fase de Ejecución de la obra.

Supervisar de manera continuada el cumplimiento de las normas de seguridad, tutelando las actividades de los trabajadores a su cargo y, en su caso, relevando de su puesto a todos aquellos que pudieran menoscabar las condiciones básicas de seguridad personales o generales, por no estar en las condiciones adecuadas.

Examinar la documentación aportada por los técnicos redactores correspondientes, tanto del Proyecto de Ejecución como de los proyectos complementarios, así como del Estudio de Seguridad y Salud, verificando que le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitando las aclaraciones pertinentes.

Facilitar la labor de la Dirección Facultativa, suscribiendo el Acta de Replanteo, ejecutando las obras con sujeción al Proyecto de Ejecución que deberá haber examinado previamente, a la legislación aplicable, a las Instrucciones del director de obra y del

director de la ejecución material de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto.

Efectuar las obras siguiendo los criterios al uso que son propios de la correcta construcción, que tiene la obligación de conocer y poner en práctica, así como de las leyes generales de los materiales o *lex artis*, aun cuando estos criterios no estuvieran específicamente reseñados en su totalidad en la documentación de proyecto. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordina las tareas de los subcontratistas.

Supervisar personalmente y de manera continuada y completa la marcha de las obras, que deberán transcurrir sin dilación y con adecuado orden y concierto, así como responder directamente de los trabajos efectuados por sus trabajadores subordinados, exigiéndoles el continuo autocontrol de los trabajos que efectúen, y ordenando la modificación de todas aquellas tareas que se presenten mal efectuadas.

Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales utilizados y elementos constructivos, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción facultativa del director de la ejecución de la obra, los suministros de material o prefabricados que no cuenten con las garantías, documentación mínima exigible o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación, debiendo recabar de la Dirección Facultativa la información que necesite para cumplir adecuadamente su cometido.

Poner a disposición del director de ejecución material de la obra los medios auxiliares y personal necesario para efectuar las pruebas pertinentes para el Control de Calidad, recabando de dicho técnico el plan a seguir en cuanto a las tomas de muestras, traslados, ensayos y demás actuaciones necesarias.

Facilitar a los directores de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación final de obra ejecutada.

Suscribir las garantías de obra que se señalan en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" y que, en función de su naturaleza, alcanzan periodos de 1 año (daños por defectos de terminación o acabado de las obras), 3 años (daños por defectos o vicios

de elementos constructivos o de instalaciones que afecten a la habitabilidad) o 10 años (daños en cimentación o estructura que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio).

2.2.4 El director de obra

Dirigir la obra coordinándola con el Proyecto de Ejecución, facilitando su interpretación técnica, económica y estética a los agentes intervinientes en el proceso constructivo.

Detener la obra por causa grave y justificada, que se deberá hacer constar necesariamente en el Libro de Órdenes y Asistencias, dando cuenta inmediata al promotor.

Redactar las modificaciones, ajustes, rectificaciones o planos complementarios que se precisen para el adecuado desarrollo de las obras. Es facultad expresa y única la redacción de aquellas modificaciones o aclaraciones directamente relacionadas con la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectadas a las características geotécnicas del terreno, el cálculo o recálculo del dimensionado y armado de todos y cada uno de los elementos principales y complementarios de la cimentación y de la estructura vertical y horizontal y los que afecten sustancialmente a la distribución de espacios.

Asistir a las obras a fin de resolver las contingencias que se produzcan para asegurar la correcta interpretación y ejecución del proyecto, así como impartir las soluciones aclaratorias que fueran necesarias, consignando en el Libro de Ordenes y Asistencias las instrucciones precisas que se estimara oportunas reseñar para la correcta interpretación de lo proyectado, sin perjuicio de efectuar todas las aclaraciones y órdenes verbales que estimare oportuno.

Firmar el Acta de replanteo o de comienzo de obra y el Certificado Final de Obra, así como firmar el visto bueno de las certificaciones parciales referidas al porcentaje de obra efectuada y, en su caso y a instancias del promotor, la supervisión de la documentación que se le presente relativa a las unidades de obra realmente ejecutadas previa a su liquidación final, todo ello con los visados que en su caso fueran preceptivos.

Informar puntualmente al promotor de aquellas modificaciones sustanciales que, por razones técnicas o normativas, conllevan una variación de lo construido con respecto al proyecto básico y de ejecución y que afecten o puedan afectar al contrato suscrito entre el promotor y los destinatarios finales de las viviendas.

Redactar la documentación final de obra, en lo que respecta a la documentación gráfica y escrita del proyecto ejecutado, incorporando las modificaciones efectuadas. Para ello, los técnicos redactores de proyectos y/o estudios complementarios deberán obligatoriamente entregarle la documentación final en la que se haga constar el estado final de las obras y/o instalaciones por ellos redactadas, supervisadas y realmente ejecutadas, siendo responsabilidad de los firmantes la veracidad y exactitud de los documentos presentados.

Al Proyecto Final de Obra se anexará el Acta de Recepción Final; la relación identificativa de los agentes que han intervenido en el proceso de edificación, incluidos todos los subcontratistas y oficios intervinientes; las instrucciones de Uso y Mantenimiento del Edificio y de sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

2.2.5 El director de la ejecución de la obra

Corresponde al director de ejecución material de la obra, según se establece en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" y demás legislación vigente al efecto, las atribuciones competenciales y obligaciones que se señalan a continuación:

La Dirección inmediata de la Obra.

Verificar personalmente la recepción a pie de obra, previo a su acopio o colocación definitiva, de todos los productos y materiales suministrados necesarios para la ejecución de la obra, comprobando que se ajustan con precisión a las determinaciones del proyecto y a las normas exigibles de calidad, con la plena potestad de aceptación o rechazo de los mismos en caso de que lo considerase oportuno y por causa justificada, ordenando la realización de pruebas y ensayos que fueran necesarios.

Dirigir la ejecución material de la obra de acuerdo con las especificaciones de la memoria y de los planos del Proyecto, así como, en su caso, con las instrucciones complementarias necesarias que recabara del director de obra.

Anticiparse con la antelación suficiente a las distintas fases de la puesta en obra, requiriendo las aclaraciones al director de obra o directores de obra que fueran necesarias y planificando de manera anticipada y continuada con el contratista principal y los subcontratistas los trabajos a efectuar.

Comprobar los replanteos, los materiales, hormigones y demás productos suministrados, exigiendo la presentación de los oportunos certificados de idoneidad de los mismos.

Verificar la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, extendiéndose dicho cometido a todos los elementos de cimentación y estructura horizontal y vertical, con comprobación de sus especificaciones concretas de dimensionado de elementos, tipos de viguetas y adecuación a ficha técnica homologada, diámetros nominales, longitudes de anclaje y adecuados solape y doblado de barras.

Observancia de los tiempos de encofrado y desencofrado de vigas, pilares y forjados señalados por la Instrucción del Hormigón vigente y de aplicación.

Asistir a la obra con la frecuencia, dedicación y diligencia necesarias para cumplir eficazmente la debida supervisión de la ejecución de la misma en todas sus fases, desde el replanteo inicial hasta la total finalización del edificio, dando las órdenes precisas de ejecución al contratista y, en su caso, a los subcontratistas.

Consignar en el Libro de Ordenes y Asistencias las instrucciones precisas que considerara oportuno reseñar para la correcta ejecución material de las obras.

Detener la Obra si, a su juicio, existiera causa grave y justificada, que se deberá hacer constar necesariamente en el Libro de Ordenes y Asistencias, dando cuenta inmediata a los directores de obra que deberán necesariamente corroborarla para su plena efectividad, y al promotor.

Supervisar las pruebas pertinentes para el Control de Calidad, respecto a lo especificado por la normativa vigente, en cuyo cometido y obligaciones tiene legalmente competencia exclusiva, programando bajo su responsabilidad y debidamente coordinado y auxiliado por el contratista, las tomas de muestras, traslados, ensayos y demás actuaciones necesarias de elementos estructurales, así como las pruebas de estanqueidad de fachadas y de sus elementos, de cubiertas y sus impermeabilizaciones, comprobando la eficacia de las soluciones.

Tras la oportuna comprobación, emitir las certificaciones parciales o totales relativas a las unidades de obra realmente ejecutadas, con los visados que en su caso fueran preceptivos.

Elaborar y suscribir responsablemente la documentación final de obra relativa a los resultados del Control de Calidad y, en concreto, a aquellos ensayos y verificaciones de ejecución de obra realizados bajo su supervisión relativos a los elementos de la cimentación, muros y estructura, a las pruebas de estanqueidad y escorrentía de cubiertas y de fachadas, a las verificaciones del funcionamiento de las instalaciones de saneamiento y desagües de pluviales y demás aspectos señalados en la normativa de Control de Calidad.

Suscribir conjuntamente el Certificado Final de Obra, acreditando con ello su conformidad a la correcta ejecución de las obras y a la comprobación y verificación positiva de los ensayos y pruebas realizadas.

2.2.6 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación

Prestar asistencia técnica y entregar los resultados de su actividad al agente autor del encargo y, en todo caso, al director de la ejecución de la obra.

Justificar la capacidad suficiente de medios materiales y humanos necesarios para realizar adecuadamente los trabajos contratados, en su caso, a través de la correspondiente acreditación oficial otorgada por la Comunidad Valenciana.

2.2.7 Los suministradores de productos

Realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo de su origen, identidad y calidad, así como del cumplimiento de las exigencias que, en su caso, establezca la normativa técnica aplicable.

Facilitar, cuando proceda, las instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para su inclusión en la documentación de la obra ejecutada.

3 DISPOSICIONES ECONÓMICAS

3.1 Definición

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, promotor y contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

3.2 Contrato de obra

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el promotor y el contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa (director de obra y director de ejecución de la obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar en los términos pactados.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, coordinar, dirigir y controlar la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el contratista.
- Condiciones de ocupación del solar e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- Responsabilidades y obligaciones del contratista: Legislación laboral.
- Responsabilidades y obligaciones del promotor.
- Presupuesto del contratista.
- Revisión de precios (en su caso).
- Forma de pago: Certificaciones.
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

3.3 Criterio general

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación", tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

3.4 Fianzas

El contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra:

3.4.1 Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el director de obra, en nombre y representación del promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

3.4.2 Devolución de las fianzas

La fianza recibida será devuelta al contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

3.4.3 Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales

Si el promotor, con la conformidad del director de obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

3.5 De los precios

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Se descompondrá el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, calcularemos el presupuesto.

3.5.1 Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen.

Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

3.5.2 Reclamación de aumento de precios

Si el contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

3.5.3 De la revisión de los precios contratados

El presupuesto presentado por el contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios.

Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el promotor y el contratista.

3.5.4 Acopio de materiales

El contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el promotor ordene por escrito. Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el contratista responsable de su guarda y conservación.

3.6 Valoración y abono de los trabajos

3.6.1 Forma y plazos de abono de las obras

Se realizará por certificaciones de obra y se recogerán las condiciones en el contrato de obra establecido entre las partes que intervienen (promotor y contratista) que, en definitiva, es el que tiene validez.

Los pagos se efectuarán por el promotor en los plazos previamente establecidos en el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el director de ejecución de la obra, en virtud de las cuáles se verifican aquéllos.

El director de ejecución de la obra realizará, en la forma y condiciones que establezca el criterio de medición en obra incorporado en las Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra, la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el período de tiempo anterior, pudiendo el contratista presenciar la realización de tales mediciones.

Para las obras o partes de obra que, por sus dimensiones y características, hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el contratista está obligado a avisar al director de ejecución de la obra con la suficiente antelación, a fin de que éste pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que las definan, cuya conformidad suscribirá el contratista.

A falta de aviso anticipado, cuya existencia corresponde probar al contratista, queda este obligado a aceptar las decisiones del promotor sobre el particular.

3.6.2 Relaciones valoradas y certificaciones

En los plazos fijados en el contrato de obra entre el promotor y el contratista, éste último formulará una relación valorada de las obras ejecutadas durante las fechas previstas, según la medición practicada por el Director de Ejecución de la Obra.

Las certificaciones de obra serán el resultado de aplicar, a la cantidad de obra realmente ejecutada, los precios contratados de las unidades de obra. Sin embargo, los excesos de

obra realizada en unidades, tales como excavaciones y hormigones, que sean imputables al contratista, no serán objeto de certificación alguna.

Los pagos se efectuarán por el promotor en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra, conformadas por la Dirección Facultativa. Tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la Liquidación Final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones parciales la aceptación, la aprobación, ni la recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. Si la Dirección Facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán a origen.

3.7 Indemnizaciones mutuas

3.7.1 Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras

Si, por causas imputables al contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el promotor podrá imponer al contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

3.7.2 Demora de los pagos por parte del promotor

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

3.8 Plazos de ejecución: Planning de obra

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un Planning de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

3.9 Liquidación económica de las obras

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el promotor y el contratista. En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, las llaves, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el promotor, el contratista, el director de obra y el director de ejecución de la obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del promotor.

La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

3.10 Liquidación final de la obra

Entre el promotor y contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará, en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

4 DISPOSICIONES LEGALES

4.1 Reconocimiento de marcas registradas

El autor de este proyecto, así como su promotor, reconocen las marcas registradas que han aparecido a lo largo del desarrollo y ejecución, además de los derechos de autor recogidos en la bibliografía consultada y citada en el mismo.

4.2 Derechos de autor

Los derechos de autor de este proyecto serán los estipulados por la legislación y reglamentación vigente en el momento del comienzo del proyecto, a excepción de posibles correcciones legales resultantes de los recursos legales que se hayan interpuesto contra las mencionadas leyes y reglamentos.

5 CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

5.1 Especificaciones de la 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 Obra 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.

5.2 Especificaciones de la instalación de fontanería.

Las tuberías serán del tipo, diámetro y presión de servicio que se indican en las Mediciones y Presupuestos de este proyecto y 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 que garantice el fabricante de reconocida solvencia nacional, previa aprobación del Director de Obra, 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 Obra.

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.

5.3 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 fácil de limpiar. 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. 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.

6. ESTADO DE MEDICIONES

ÍNDICE

1	ESTADO DE MEDICIONES	2
1.1	PARTIDA 1: EQUIPOS	2
1.2	PARTIDA 2: CONDUCCIONES.....	3
1.3	PARTIDA 3: ACCESORIOS	3
1.4	PARTIDA 4: OBRA CIVIL	3

1 ESTADO DE MEDICIONES

El estado de mediciones es el sexto documento básico del proyecto. La finalidad del documento es determinar y definir las unidades de obra que constituyen la instalación a diseñar. En este documento se determinan tanto las partidas como las unidades y características de cada unidad de obra. El presente documento servirá como punto de partida para la elaboración del presupuesto del proyecto. Se comprende como unidad de obra cada una de las distintas partes en las que puede dividirse un proyecto y pueden medirse. Las partidas que componen el presente proyecto son cuatro (ver *tabla EM. 1*).

Tabla EM. 1 Partidas

PARTIDA
Partida 1: Equipos
Partida 2: Conducciones
Partida 3: Accesorios
Partida 4: Obra civil

1.1 Partida 1: Equipos

En la *tabla EM. 2* se muestra el estado de mediciones de los equipos que componen la instalación.

Tabla EM. 2 Equipos

Equipo	Empresa	Uds.
Depósito de acetaldehído de 9 m de diámetro y 9 m de alto de acero inoxidable para un volumen de 600 m ³ .	<i>Tankeros</i>	1
Intercambiador de calor de coraza y haz de tubos. Modelo Century C400. Para un área de intercambio de calor de 51,15 m ² y 412 tubos.	<i>Standard Xchange</i>	1
Reactor de lecho empaquetado. Modelo Century C400. Para un área de intercambio de calor de 72,89 m ² y 200 tubos.	<i>Standard Xchange</i>	1
Compresor de etanol frío. Modelo HX/HN. Para un caudal de 3.086 m ³ /h y una potencia de 56,66 kW.	<i>Atlas Copco</i>	1
Compresor de etanol caliente. Modelo HX/HN. Para un caudal de 3.953 m ³ /h y una potencia de 149,82 kW.	<i>Atlas Copco</i>	1
Compresor de vapor de agua. Modelo ZH/HA/H. Para un caudal de 34.839 m ³ /h y una potencia de 860,32 kW.	<i>Atlas Copco</i>	1

1.2 Partida 2: Conducciones

En la *tabla EM. 3* se muestra el estado de mediciones de las conducciones que componen la instalación. Todas las conducciones son de acero inoxidable AISI 304L.

Tabla EM. 3 Conducciones

Tramo	Empresa	m
T3. Conducción de 16,83 cm de diámetro externo	<i>Acinesgon</i>	5
T9. Conducción de 21,91 cm de diámetro externo	<i>Acinesgon</i>	5
T14. Conducción de 21,91 cm de diámetro externo	<i>Acinesgon</i>	5
T6. Conducción de 76,20 cm de diámetro externo	<i>Tubacero</i>	5
T12. Conducción de 2,13 cm de diámetro externo	<i>Acinesgon</i>	5
T19. Conducción de 16,83 cm de diámetro externo	<i>Acinesgon</i>	40

1.3 Partida 3: Accesorios

En la *tabla EM. 4* se muestra el estado de mediciones de los accesorios que componen la instalación. Todos los accesorios son de acero inoxidable AISI 304L.

Tabla EM. 4 Accesorios

Accesorios	Empresa	Unidades
Empalme (T) de 16,83 cm de diámetro externo	<i>Acinesgon</i>	1
Codo de 90° de 16,83 cm de diámetro externo	<i>Acinesgon</i>	2

1.4 Partida 4: Obra civil

En la *tabla EM. 5* se muestra el estado de mediciones de la superficie de la parcela necesaria para la instalación.

Tabla EM. 5 Obra civil

Elemento	Superficie (m ²)
Instalación de fontanería	1.250
Instalación eléctrica de alumbrado	1.250
Instalación antincendios	1.250
Instalación de agua	1.250

7. PRESUPUESTO

ÍNDICE

1	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)	2
1.1	PEM PARCIAL.....	2
1.1.1	<i>Partida 1: Equipos</i>	2
1.1.2	<i>Partida 2: Conducciones</i>	3
1.1.3	<i>Partida 3: Accesorios</i>	3
1.1.4	<i>Partida 4: Obra civil</i>	3
1.1.5	<i>Otros</i>	4
1.2	PEM TOTAL.....	5
2	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	6
3	PRESUPUESTO TOTAL	7

1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)

1.1 PEM PARCIAL

El Presupuesto de Ejecución de Material representa el coste del objeto del proyecto, lo que le cuesta al contratista ejecutar la obra. En el presente proyecto se divide en 4 partidas (ver *tabla P. 1*).

Tabla P. 1 Partidas

PARTIDA
Partida 1: Equipos
Partida 2: Conducciones
Partida 3: Accesorios
Partida 4: Obra civil

A continuación, se exponen las distintas partidas que componen el Presupuesto de Ejecución de Material del presente proyecto.

1.1.1 Partida 1: Equipos

La primera partida del Presupuesto de Ejecución de Material está formada por los distintos equipos que forman la instalación. En la *tabla P. 2* se recoge la primera partida.

Tabla P. 2 Equipos

Equipo	Uds.	Precio unitario (€/ud.)	Precio (€)
Depósito de acetaldehído de 9 m de diámetro	1	200.000	200.000
Intercambiador de calor de coraza y haz de tubos	1	100.000	100.000
Reactor de lecho empaquetado	1	100.000	100.000
Compresor de etanol frío	1	300.000	300.000
Compresor de etanol caliente	1	300.000	300.000
Compresor de vapor de agua	1	400.000	400.000
TOTAL EQUIPOS	6	1.400.000,00	

1.1.2 Partida 2: Conducciones

La segunda partida del Presupuesto de Ejecución de Material está formada por las distintas conducciones que forman la instalación. En la *tabla P. 3* se recoge la segunda partida.

Tabla P. 3 Conducciones

Tramo	m	kg/m	Precio (€/kg)	Precio (€)
T3. Conducción de 16,83 cm de diámetro externo	5	12,496	3,21	40,11
T9. Conducción de 21,91 cm de diámetro externo	5	16,329	3,21	52,42
T14. Conducción de 21,91 cm de diámetro externo	5	16,329	3,21	52,42
T6. Conducción de 76,20 cm de diámetro externo	5	600,71	3,21	1.928,28
T12. Conducción de 2,13 cm de diámetro externo	5	1,285	3,21	4,12
T19. Conducción de 16,83 cm de diámetro externo	40	16,329	3,21	52,42
TOTAL CONDUCCIONES	65		2.129,76	

1.1.3 Partida 3: Accesorios

La tercera partida del Presupuesto de Ejecución de Material está formada por los distintos accesorios que forman la instalación. En la *tabla P. 4* se recoge la tercera partida.

Tabla P. 4 Accesorios

Accesorios	Unidades	Precio (€/m)	Precio (€)
Empalme (T)	1	551,20	551,20
Codo de 90°	2	393,90	787,80
TOTAL ACCESORIOS	3	1.339,00	

1.1.4 Partida 4: Obra civil

La cuarta partida del Presupuesto de Ejecución de Material está formada por la obra civil e instalaciones necesarias para que la instalación pueda operar. Se debe tener en cuenta que la instalación a diseñar se situará en el complejo industrial de la empresa UBE Chemical Europe S. A. U. de modo que las instalaciones necesarias ya se encuentran en la planta y el terreno ya está adecuado. A pesar de esto, desde un punto de vista conservador, se ha realizado el presupuesto para prevenir el caso de que se tuviese que realizar alguna adecuación de las instalaciones existentes. La cuarta partida del Presupuesto de Ejecución de Material se ha realizado a partir de estimaciones de ratios

económicos proporcionados por el Colegio de Ingenieros Industriales de la Comunidad Valenciana. En la *tabla P. 5* se recoge la cuarta partida.

Tabla P. 5 Obra civil

Elemento	Superficie (m ²)	Coste (€/m ²)	Coste (€)
Instalación de fontanería	1.250	6	7.500
Instalación eléctrica de alumbrado	1.250	20	25.000
Instalación antincendios	1.250	15	18.750
Instalación de agua	1.250	6	7.500
TOTAL			58.750,00

1.1.5 Otros

A pesar de que en el documento Estado de Mediciones únicamente se definen 4 partidas, a la hora de elaborar el presupuesto es importante tener en cuenta los costes de mano de obra, para ello, se define una quinta partida:

- Partida 5: Mano de obra

La mano de obra, en consonancia con las estimaciones proporcionadas por el Colegio de Ingenieros Industriales de la Comunidad Valenciana se define como un 15% de la primera partida, equipos. En esta partida se incluyen los honorarios del proyectista (ver *tabla P. 6*).

Tabla P. 6 Mano de obra

Elemento	Razón	Coste (€)
Mano de obra	15% Partida 1	210.000
TOTAL		210.000

1.2 PEM TOTAL

El Presupuesto de Ejecución de material Total se define como el sumatorio de las distintas partidas que componen el Presupuesto de Ejecución de material Parcial. El Presupuesto de Ejecución de material Total se recoge en la *tabla P. 7*.

Tabla P. 7 PEM total

Partida	Coste (€)
Partida 1: Equipos	1.400.000,00
Partida 2: Conducciones	2.129,76
Partida 3: Accesorios	1.339,00
Partida 4: Obra civil	58.750,00
Partida 5: Mano de obra	210.000,00
TOTAL	1.672.218,76

2 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)

Para determinar el Presupuesto de Ejecución por Contrata, se debe tener en cuenta el PEM, a partir de este, se determinan los Gastos Generales (20% del PEM) y el Beneficio Industrial (6% del PEM).

En los Gastos Generales se incluyen todos aquellos gastos derivados de licencias y seguridad y salud. En la *tabla P. 8* se recoge el PEC.

Tabla P. 8 PEC

Elemento	Coste (€)
Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)	1.672.218,76
Gastos Generales	334.443,75
Beneficio Industrial	100.333,13
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	2.106.995,64

3 PRESUPUESTO TOTAL

El Presupuesto total, el equivalente a la Inversión Inicial (I_0), se determina aplicando el IVA (21%) al Presupuesto de Ejecución por Contrata determinado (ver *tabla P. 9*).

Tabla P. 9 Presupuesto total

Elemento	Coste (€)
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	2.106.995,64
IVA (21%)	442.469,09
PRESUPUESTO TOTAL	2.549.464,73

El presupuesto total del proyecto *Diseño de la etapa de reacción para la producción de acetaldehído a partir de etanol: Acondicionamiento térmico del reactivo y reactor catalítico de lecho empaquetado* asciende a **DOS MILLONES QUINIENTOS CUARENTA Y NUEVE MIL CUATROCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON SETENTA Y TRES CÉNTIMOS.**

