



UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Comprobación y diseño de la etapa de condensación en el proceso de destilación final de MDI

Trabajo de final de grado

Identificador: TFGEQ_2116

Tutor: Carlos Alvarez Herrero

Supervisor externo: Esteve Obis Torruella

Miembros: Montserrat-Denny Alba I Almonte

Mahassine Aribi

Roger Budesca Muñoz

Grado: Ingeniería Química

Tarragona, 10 de junio de 2021

Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.	
Vist i plau pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química.	
TÍTOL DEL TFGEQ: <i>COMPROBACIÓN y DISEÑO DE LA ETAPA DE CONDENSACIÓN EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN FINAL DE ITRI. (TFGEQ_2116)</i>	
SUBTÍTOL	
AUTOR: <i>MONTSERRAT - DENNY ALBA i ALMONTE</i>	
CURS ACADÈMIC: <i>2020 / 2021</i>	
VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC	
En/Na <i>CARLOS ALVAROZ HERRERO</i>	
en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera que el TFGEQ	
<input checked="" type="checkbox"/> és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa	
<input type="checkbox"/> no en recomana la defensa per presentar les mancances exposades en el document annex	
Signatura:	Data:
	<i>10/06/2021</i>
DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT	
En/Na <i>ESTEBE OBIS i TORRUELLA</i>, en la seva capacitat de supervisor extern ^(*) del treball fa constar que ha revisat el contingut del TFGEQ i que no conté cap informació que pugui ser considerada com confidencial per part de l'empresa <i>COVESTRO, S.L.</i>	
<small>(*) Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció</small>	
Signatura:	Data:
	<i>10/06/2021</i>

A continuación, se muestra el código de colores para el reparto de las tareas:

-  Todos
-  Mahassine Aribi
-  Montserrat-Denny Alba I Almonte
-  Roger BudescaMuñoz

Símbolo	Significado	Unidades
Q	Calor intercambiado	kW
m_c	Caudal másico del fluido caliente	kg/h
$h_{1,c}$	Entalpía específica de entrada del fluido caliente	kJ/kg
$h_{2,c}$	Entalpía específica de salida del fluido caliente	kJ/kg
U	Coefficiente global de transferencia de calor	W/(m ² K)
A_s	Área de intercambio	m ²
F	Factor de corrección de la temperatura media logaritmica	-
ΔT_{LM}	Temperatura media logaritmica	K
k	Conductividad térmica	W/mK
C_p	Capacidad calorífica	J/kgK
N_t	Número de tubos	-
L_t	Longitud del tubo	-
D	Diámetro externo del tubo	m
D_i	Diámetro interno del tubo	m
P_t	Distancia entre centros de tubos	m
C	Mínima distancia entre tubos	m
n	Número de pasos por tubo	-
a_{pt}	Área de paso por tubos	m ²
V	Velocidad	m/s
ρ	Densidad	kg/m ³
μ	Viscosidad	Ns/m ²
Re	Número de Reynolds	-
Pr	Número de Prandtl	-
Nu	Número de Nusselt	-
h_{io}	Coefficiente de convección del lado tubos	W/m ² K
ΔP_t	Perdida de carga en los tubos	Pa
ΔP_r	Perdida de carga en los cambios de paso	Pa
ΔP	Perdida de carga total	Pa
s	Espesor	mm
C	Factor de diseño	-
D_1	Diámetro de diseño del condensador	mm
p_i	Presión de diseño en el interior	bar
p_u	Presión de diseño en el exterior	bar
S	Coefficiente de seguridad	-
K	Factor de resistencia del material	N/mm ²
v	Coefficiente de junta	-
C_1	Sobreespesor para compensar las tolerancias	mm
C_2	Sobreespesor de corrosión	mm
d_a	Diámetro exterior del tubo	mm

Símbolo	Significado	Unidades
d_a^*	Diámetro exterior del tubo con factor de corrección	mm
Q_v	Caudal volumétrico	m^3/h
K_v	Coficiente de caudal en unidades métricas	m^3/h
C_v	Coficiente de caudal en unidades imperiales	gmc
K_{vs}	Coficiente de caudal para carrera nominal del 100% (H_{100})	m^3/h
Q_t	Caudal en las tuberías	m^3/s
A	Área de la tubería	m^2
f	Factor de fricción	-
ε	Espesor de la tubería	mm
H_f	Pérdida de carga	bar

CONTENIDO

1. Introducción	10
2. Etapa preliminar	11
2.1. Descripción del proyecto	11
2.2. Alcance del proyecto	11
2.3. Análisis de problemas en el condensado 07W02.....	11
2.4. Alternativas de proceso	13
2.4.1. Modificar condensador 07W02	13
2.4.2. Adición de un condensador complementario.....	15
2.4.3. Selección de la adición de un condensador adicional.....	16
2.4.4. Selección del tipo de condensador complementario.....	17
2.4.5. Selección de la configuración TEMA del condensador	20
2.4.6. Soportes del equipo	22
2.5. Planificación del proyecto	22
3. Bases para el desarrollo del proyecto	24
3.1. Bases de diseño	24
3.1.1. Especificaciones de alimentación.....	24
3.1.2. Capacidad, flexibilidad operativa i factor de servicio	24
3.1.3. Especificaciones de los productos	24
3.2. Datos básicos para el desarrollo de la ingeniería	24
3.2.1. Energías disponibles	24
3.2.2. Datos del emplazamiento	25
3.2.2.2 Climáticos, pluviométricos y sísmicos.....	25
3.2.3. Normas y códigos de diseño	26
3.2.3.1 Recipientes	26
3.2.3.2 Tuberías e instrumentación.....	27
4. Desarrollo de la ingeniería básica	28
4.1. Diagrama de bloques	28
4.2. Diagrama de flujo de proceso (PFD)	29
4.3. Diagrama de implantación (<i>Plot Plan</i>).....	30
4.4. Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID).....	31
4.4.1. Tabla de simbología.....	32
4.5. Diseño del condensador con refrigerante de MCB a 38°C	34
4.5.1. Condiciones de operación y diseño	34
4.5.2. Diseño térmico e hidráulico	34
4.5.3. Resultados del diseño térmico con refrigerante de MCB a 38°C	41
4.6. Estudio del comportamiento de la mezcla a 7 mbar	41

4.7.	Diseño del condensador con refrigerante de MCB a 5°C	43
4.7.1.	Condiciones de operación y diseño	43
4.7.2.	Diseño térmico e hidráulico	43
4.7.3.	Diseño mecánico.....	47
4.7.4.	Aislamiento térmico.....	52
4.7.5.	Ficha de especificaciones del condensador 07W02.2.....	53
4.8.	Diseño de tuberías	54
4.8.1.	Dimensionamiento	54
4.8.2.	Pérdida de carga.....	55
4.8.3.	Aislamiento térmico.....	57
4.8.4.	Listado de líneas	59
4.9.	Diseño de instrumentación y control.....	61
4.9.1.	Listado de instrumentación	62
4.9.2.	Diseño de la válvula de control VC-101	64
4.9.2.2	Hoja de especificaciones para válvula de control VC-101	65
4.9.3.	Diseño de la válvula de seguridad PSV Y7.10.....	66
4.9.3.1	Hoja de especificaciones para válvula de seguridad PSV	67
4.9.4.	Selección de los compensadores.....	68
4.9.5.	Caracterización de las estrategias de control.....	68
4.9.6.	Descripción funcional del proyecto	69
4.9.7.	Descripción de la instalación.....	70
5.	Mantenimiento de las instalaciones	71
5.1.	Objetivos del mantenimiento	71
5.2.	Plan de mantenimiento	71
5.2.1.	Inventario de equipos	71
5.2.2.	Recopilación de información para el mantenimiento	71
5.2.3.	Estrategias de mantenimiento.....	72
5.2.3.2	Mantenimiento correctivo.....	73
5.2.3.3	Mantenimiento preventivo sistemático	73
5.2.3.4	Mantenimiento preventivo en base estado.....	74
5.2.3.5	Mantenimiento predictivo.....	74
5.2.4.	Organigrama de mantenimiento	74
5.3.	Técnicas para el mantenimiento predictivo	75
6.	Estudio económico	76
6.1.	Inversión inicial.....	76
6.2.	Costes directos	76
6.3.	Ingresos.....	77

6.4. Análisis de costes	77
7. Conclusiones	79
8. Bibliografía	80
Anexos	82
A.1. Hoja TEMA del 07W02 en aspen exchanger design & rating	82
A.2. Hoja TEMA del 07W02.2 en aspen exchanger design & rating con MCB a 5°C.	83
A.2. Fichas de seguridad de los compuestos.....	84

1. INTRODUCCIÓN

Título	Comprobación y diseño de la etapa de condensación en el proceso de destilación final de MDI		
Identificador	TFGEQ_2116		
Tutor	Carlos Alvarez		
Supervisor externo	Esteve Obis		
Fecha	10/06/2021	Localización	Tarragona
Autores	Montserrat-Denny Alba I Almonte Mahassine Aribi Roger Budesca Muñoz		

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Descripción del proyecto

El proyecto se basa en el estudio y la mejora del funcionamiento de un equipo de condensación ubicado en la planta de producción de diisocianato de difenilmetano o también conocido como MDI, que está ubicada en Covestro.

Este equipo presenta problemas de funcionamiento ya que no cumple con su objetivo principal, por tanto, no condensa suficientemente como debería hacer, debido a diferentes motivos, ya que en el interior del equipo se genera un alto caudal de gas que permite el paso de clorobenceno (también conocido como MCB) y MDI y también debido a la poca área de intercambio de calor que hay disponible.

El equipo en cuestión es el condensador 07W02 que va acoplado al evaporador 07W01. Estos equipos se encuentran en la etapa final de destilación que consiste en acabar de separar el MDI de otros compuestos para obtener el producto deseado con una pureza mayor, esta separación se logra mediante estos dos equipos que operan de manera conjunta, de forma que el fondo del condensador está conectado a la parte superior del evaporador.

Esta etapa de destilación presenta los errores comentados, por tanto, se procede a analizar y estudiar el problema de forma exhaustiva ya que se requiere aumentar la producción del MDI un 30% y, por consiguiente, el problema será más crítico ya que se necesitará más área de intercambio.

Debido a este mal funcionamiento del equipo y a la necesidad de implementar una mejora e incrementar la producción del MDI, manteniendo las condiciones y las especificaciones del producto, se realiza el estudio del equipo de condensación para comprobar si puede abastecer este aumento de producción, y en caso contrario se presentan diferentes soluciones y alternativas y tras el estudio de éstas se selecciona la solución óptima para cumplir las necesidades técnicas de producción y económicas.

2.2. Alcance del proyecto

Se ejecutará un estudio mediante la simulación actual de la instalación, para posteriormente incorporar las mejoras necesarias para una futura ampliación, teniendo en cuenta los productos involucrados como el MCB, PHI o el MDI monómero y polímero y las capacidades máximas de los equipos instalados.

Se realizará por lo tanto un estudio de diseño térmico y mecánico de los equipos nuevos o bien una modificación del condensador actual teniendo presente las necesidades y adaptando dicha instalación a la empresa y sus respectivos planos como el *Plot Plant*, el PFD o el P&ID.

Finalmente se ha optado por añadir un nuevo condensador, para conseguir condensar la mayor cantidad posible de MCB (que es el objetivo principal del proyecto).

Una vez ejecutado el estudio de los diseños, se realizará un estudio económico para poder ver si la implantación del nuevo sistema es viable o no, el nuevo sistema tendrá un VAN, TIR y *PayBack*, el cual, se podrá ver más adelante del informe.

Como información importante saber que con una inversión inicial de 80500 € se consigue aproximadamente un VAN global de 0.039 M€ y la recuperación de dicha inversión inicial será alrededor de un año y ocho meses.

2.3. Análisis de problemas en el condensado 07W02

Previo al estudio de la ampliación de producción se analiza el funcionamiento térmico del condensador en la actualidad, para así conocer y determinar las limitaciones que tiene el equipo.

El condensador 07W02 se diseñó para alcanzar unas determinadas temperaturas de salida, con la superficie de intercambio de calor disponible según el dimensionamiento del equipo, tal y como se muestra en las tablas 2.3.1 y 2.3.2.

Tabla 2.3.1. Valores termodinámicos requeridos teóricamente.

	Entrada fluido caliente	Salida fluido caliente	Entrada refrigerante
Temperatura(°C)	175	40	38

Tabla 2.3.2. Valores termodinámicos requeridos teóricamente.

Área de intercambio requerida (m ²)	21.2
---	------

Estos valores presentados, son los esperados teóricamente, mientras que, en la realidad el equipo alcanza otros valores de temperaturas que varían respecto las deseadas, este hecho se puede comprobar con los datos de las tablas 2.3.3 y 2.3.4.

Tabla 2.3.3. Valores termodinámicos reales en planta.

	Entrada fluido caliente	Salida fluido caliente	Entrada refrigerante
Temperatura (°C)	175	75	40

Tabla 2.3.4. Valores termodinámicos reales en planta.

Área de intercambio requerida (m ²)	21
---	----

Se observa como el equipo no es capaz de condensar hasta una temperatura de 40°C, no obstante, el diseño térmico teórico indicaba lo contrario. Por consiguiente, este hecho alerta de un problema en el condensador.

El principal inconveniente del equipo es la falta de superficie para condensar y obtener la temperatura deseada ya que, si aumenta la superficie de intercambio calor, esto implica que se podrá enfriar más el condensado.

La falta de superficie es debido a la alta velocidad del caudal del clorobenceno de la salida del evaporador, este caudal también permite el paso de MDI de forma que en el condensador se alimenta a muy altas velocidades, por este hecho se necesita más superficie para abastecer el caudal y la velocidad de éste.

Finalmente, también se ha simulado el proceso para su análisis mediante *Aspen Exchanger Design & Rating* de forma que se obtienen los valores de las temperaturas de entrada y salida, respectivamente.

Tabla 2.3.5. Valores termodinámicos obtenido en la simulación.

	Entrada fluido caliente	Salida fluido caliente	Entrada refrigerante
Temperatura (°C)	175	56.5	40

Tabla 2.3.6. Valores termodinámicos obtenido en la simulación

Área de intercambio requerida (m ²)	21.2
---	------

En este caso también se comprueba el mismo hecho, la temperatura de salida del fluido caliente obtenida en la simulación no corresponde con lo que se requiere teóricamente, esto es debido a que termodinámicamente no es posible alcanzar ese valor de temperatura requerido utilizando refrigerante a 38°C. Sin embargo, la simulación indica que se debería obtener una temperatura de condensado menor a la que obtiene en planta, de esta forma el problema de falta de superficie que hay en el equipo es evidente.

2.4. Alternativas de proceso

En este apartado se detallan los diferentes análisis de alternativas realizados para la posterior selección de la metodología óptima mediante una matriz de riesgo.

Las alternativas a evaluar son:

1. Modificar el condensador actual 07W02.
2. Adición de condensadores complementarios.

Se ha tenido en cuenta los siguientes factores para la decisión:

- **Pérdida de carga**
- **Espacio en planta disponible:** Basado en las limitaciones dadas por Covestro.
- **Eficiencia del servicio:** Evalúa la capacidad de condensado, disminución de la temperatura de salida y disminuir la cantidad de MDI que pasa al condensador.
- **Tiempo de ejecución:** Evalúa el tiempo de parada de la producción necesario y el tiempo de instalación/modificación y puesta en marcha del equipo.
- **Costes:** Se tiene en cuenta costes de compra e instalación en planta y los costes indirectos de indisponibilidad del equipo debido a la parada necesaria.

2.4.1. Modificar condensador 07W02

Una de las alternativas que se han pensado es la posibilidad de sustituir o bien modificar el condensador actual teniendo en cuenta que cada solución tendrá una serie de problemas que quizás hacen de esas opciones inviables.

La primera opción que se ha valorado es la posibilidad de incrementar la superficie disponible en el condensador de dos maneras, aumentar la longitud para tener más superficie, o bien hacerlo más ancho.

Si aumentáramos tanto la envergadura como la anchura, uno de los problemas más grandes que saldrían sería el tener que modificar todo el equipo actual.

Por otro lado, si se hiciera el condensador más largo se tendrían problemas de pérdida de carga.

A continuación, se evalúan los diferentes parámetros de interés en la selección de la alternativa de modificar el equipo 07W02.

- **Pérdida de carga**

Si se modificara el condensador, en este caso, aumentando la longitud, tendríamos problema de pérdida de carga, ya que el fluido tendría que hacer más recorrido con la misma potencia.

- **Espacio en planta disponible**

En principio, no sería un problema de espacio, ya que la planta de producción de MDI está preparada para poder hacer una ampliación de dicho condensador o de cualquier otra alternativa.

- **Eficiencia del servicio**

En el momento que todo volviera a la normalidad (una vez montado el equipo), la eficiencia sería igual de buena que las demás alternativas ya que en el momento de hacer la ampliación del condensador se tendría en cuenta todos los parámetros para optimizarla.

- **Tiempo de ejecución**

El tiempo de ejecución serían unos cuantos días, ya que se tendría que desmontar todo y volver a montarlo con las mejoras pertinentes. Dependiendo de la eficiencia de los trabajadores sería aproximadamente de 4 días con todo parado. A continuación, en la tabla 2.4.1 se muestra una estimación real del tiempo que se tardaría si se modificara el equipo actual.

Tabla 2.4.1. Estimación del tiempo de modificar el equipo actual.

Actividad	Personal encargado	Horas de trabajo	Tiempo de parada necesario
Preparación del equipo a desmontar (Parada producción, enfiado, vaciado, limpiado y trabajos mecánicos previos necesarios como descalorifugado)	Producción	24 horas	1 día
Desmontaje equipo actual	Mantenimiento	4 horas	0.5 días
Modificaciones de la infraestructura	Mantenimiento	8 horas	1 día
Montaje equipo nuevo	Mantenimiento	8 horas	1 día
Pruebas de estanquidad, calorífugo y puesta en marcha	Mantenimiento y producción	8 horas	1 día

- **Costes**

El motivo por el cual no es posible esta opción es por los costes, el hecho de tener que parar la planta para poder modificar el condensador actual cuesta un tiempo demasiado valioso y caro para la producción de MDI. Esta opción quedaría descartada porque como equipo se está buscando la forma más eficiente de abastecer los objetivos de nuestros clientes.

2.4.2. Adición de un condensador complementario

La adición de un condensador complementario es una alternativa que permitiría optimizar la capacidad de condensación mediante el aumento de superficie. Y también un nuevo diseño que reduzca la velocidad de paso para minimizar el paso de MDI.

Las alternativas de configuración serían en paralelo o en serie.

Una configuración en paralelo generaría un aumento del área total disponible y reduciría el número de intercambiadores necesarios, así como, sería capaz de asumir un aumento de producción. (ref. 14) Pero debe descartarse ya que requeriría modificar la conexión entre el evaporador 07W01 y el condensador 07W02, así como rediseñar la estructura y soportes de estos equipos, lo cual implicaría unos costes elevados.

A continuación, se evalúan los diferentes parámetros de interés en la selección de la alternativa de la configuración en serie.

- **Pérdida de carga**

El uso de dos intercambiadores en serie permitirá obtener pérdidas de carga asumibles y reducir la necesidad de sobredimensionamiento del equipo, pero se verá limitado según el diseño del intercambiador complementario.

- **Espacio en planta disponible**

La adición de un condensador adicional supone la necesidad de nueva infraestructura, instrumentación y espacio para el equipo y sus conexiones. Del análisis del problema se observa que la superficie necesaria para conseguir reducir de 72°C a 42°C no supondrá seguramente un dimensionamiento mayor que el del 07W02 de 600 mm de diámetro. Con esto, y viéndose el *plot plan* del apartado 4.3, se determina que no es un factor limitante ya que hay espacio disponible.

- **Eficiencia del servicio**

Una configuración en serie permite aumentar la eficiencia global de la operación de condensación. Esto significaría alcanzar temperaturas de salida próximas a los 42°C deseados. Todo esto aumentando el área necesaria para el intercambio, pero sin suponer pérdidas de carga elevadas. También ha de valorarse que al realizarse en dos etapas la condensación, la velocidad de paso variará y se minimizará la cantidad de flujo que pasa del MDI en las líneas de vacío.

- **Tiempo de ejecución**

El tiempo necesario promedio para el montaje y puesta en marcha de un nuevo condensador complementario supone un promedio de 3 días naturales, teniendo como ruta crítica las actividades detalladas en la tabla 2.4.2. Este se adapta a los requisitos establecidos por *Covestro* de máximo 72 horas de parada.

Para ello se requiere el servicio del personal de producción que tiene una disponibilidad de 24 horas al día y los de mantenimiento 12 horas/días naturales.

Se puede satisfacer el término realizando en paralelo la instalación de la infraestructura del condensador adicional con la producción del condensador 07W02, así reduciendo el tiempo necesario de parada.

Tabla 2.4.2. Estimación de la duración y actividades necesarias desde la parada de producción a la puesta en marcha.

Actividad	Personal encargado	Horas de trabajo	Tiempo de parada necesario
Preparación del equipo a desmontar (Parada producción, enfriado, vaciado, limpiado y trabajos mecánicos previos necesarios como descalorifugado)	Producción	24 horas	1 día
Desmontaje equipo actual	Mantenimiento	4 horas	0.5 días
Modificaciones de la infraestructura	Mantenimiento	8 horas	0
Montaje equipo nuevo	Mantenimiento	8 horas	1 día
Pruebas de estanquidad, calorífugo y puesta en marcha	Mantenimiento y producción	8 horas	1 día

- **Costes**

El coste variará según el modelo y diseño del condensador. Y al ser un equipo adicional habrá un coste asociado a la estructura necesaria donde se soportará, al mantenimiento y la instrumentación y control. Estos se pueden reducir con buen diseño y no deberían suponer una limitación ya que la mayor carga de trabajo se realiza en el 07W02.

Por otro lado, también hay que valorar el coste de pérdidas de producción indirectos cuando se tenga que realizar la parada, en este caso, el tiempo será corto ya que la construcción se puede hacer en paralelo con la operación del 07W02.

2.4.3. Selección de la adición de un condensador adicional

La selección de la mejor alternativa es una parte fundamental para garantizar alcanzar los requisitos del cliente de una manera más eficiente y económica. Por ello, para la comparación de las alternativas planteadas se realiza la matriz de riesgo de la tabla 2.4.3 donde los diferentes parámetros, detallados anteriormente para cada alternativa, se evalúan mediante el siguiente código de colores:

- Rojo: parámetro no recomendable o problemático
- Naranja: parámetro asumible
- Verde: parámetro óptimo

Tabla 2.4.3. Matriz de riesgo para la selección del equipo a diseñar.

Parámetro	Modificar actual	Adición condensador complementario
Pérdida de carga		
Espacio en planta disponible		
Eficiencia del servicio		
Tiempo de ejecución		
Costes		

Como puede observarse en la tabla 2.4.3. la opción de modificar el condensador debe descartarse ya que supondría un diseño más riguroso para solventar los problemas de pérdida de carga y unos *timelines* más exigentes para minimiza las pérdidas debido a la parada de producción necesario. Por lo cual, la opción más viable es la adición de un condensador complementario.

2.4.4. Selección del tipo de condensador complementario

Para el diseño del condensador adicional primero se procede a evaluar los diferentes modelos de intercambiadores de calor presentes en el mercado que puedan satisfacer los requerimientos definidos en la tabla 2.4.4.

Tabla 2.4.4. Requisitos del nuevo intercambiador.

Operación	Condensación parcial o total para reducir el caudal de gas que va a las bombas de vacío
Presión de operación	Vacío (7 mbar absolutos)
Temperatura de entrada // salida	72 // 42 °C
Máxima pérdida de carga	10% de la presión de entrada para gases a menos de 2 bar
Refringente disponible	MCB a 38°C

Los diferentes modelos de condensadores son:

1. Carcasa y tubo
2. Condensador aereorefrigerante
3. Condensador de placas
4. Contacto directo
5. Condensador de espiral

Para el criterio de selección se ha empleado el diagrama de árbol mostrado en la figura 2.4.1 y su lectura del camino tomado se interpreta como:

- 1) Se utiliza MCB de proceso como refrigerante.
- 3) Los condensadores de placas presentan limitaciones a bajas presiones por la pérdida de carga. Y como opera al vacío no es la opción más viable.
- 4) Entre las temperaturas de entrada del vapor y del refrigerante hay un incremento de temperatura de aproximadamente 30°C.

- 5) La fase vapor no es un fluido muy sucio ni corrosivo, todo y que contiene las cantidades de MDI que han pasado con el caudal de MCB. Por este motivo se selecciona un modelo de carcasa y tubo.
- 8) El objetivo es una condensación parcial o mayoritaria para minimizar el caudal de vapor ya que este reduce la capacidad de vacío de las bombas.
- 9) Los condensadores verticales presentan una eficiencia mayor desde el punto de vista de transferencia de calor. Además, en este caso el equipo se situará en un tercer nivel, encima del 07W02, lo cual dificulta la disponibilidad de espacio para una instalación en horizontal.
- 10) La operación no se lleva a cabo a presiones altas. Ocurre al vacío.
- 11) La pérdida de carga admisible en el lado de condensación tiene que ser pequeña para no aumentar los costes ni afectar a la capacidad de las bombas al vacío.
- 12) El refrigerante irá preferentemente por los tubos para que pueda dar varios pasos y así obtener velocidades altas, y con ello, conseguir coeficientes elevados y reducir *fouling*. Pero la razón principal es porque realizar la condensación en el lado carcasa permite tener pérdidas de carga bastante reducidas.

Tras estos criterios se selecciona un condensador vertical del tipo carcasa y tubo con condensación en el lado carcasa de forma preliminar, este podría verse modificado durante la etapa de diseño.

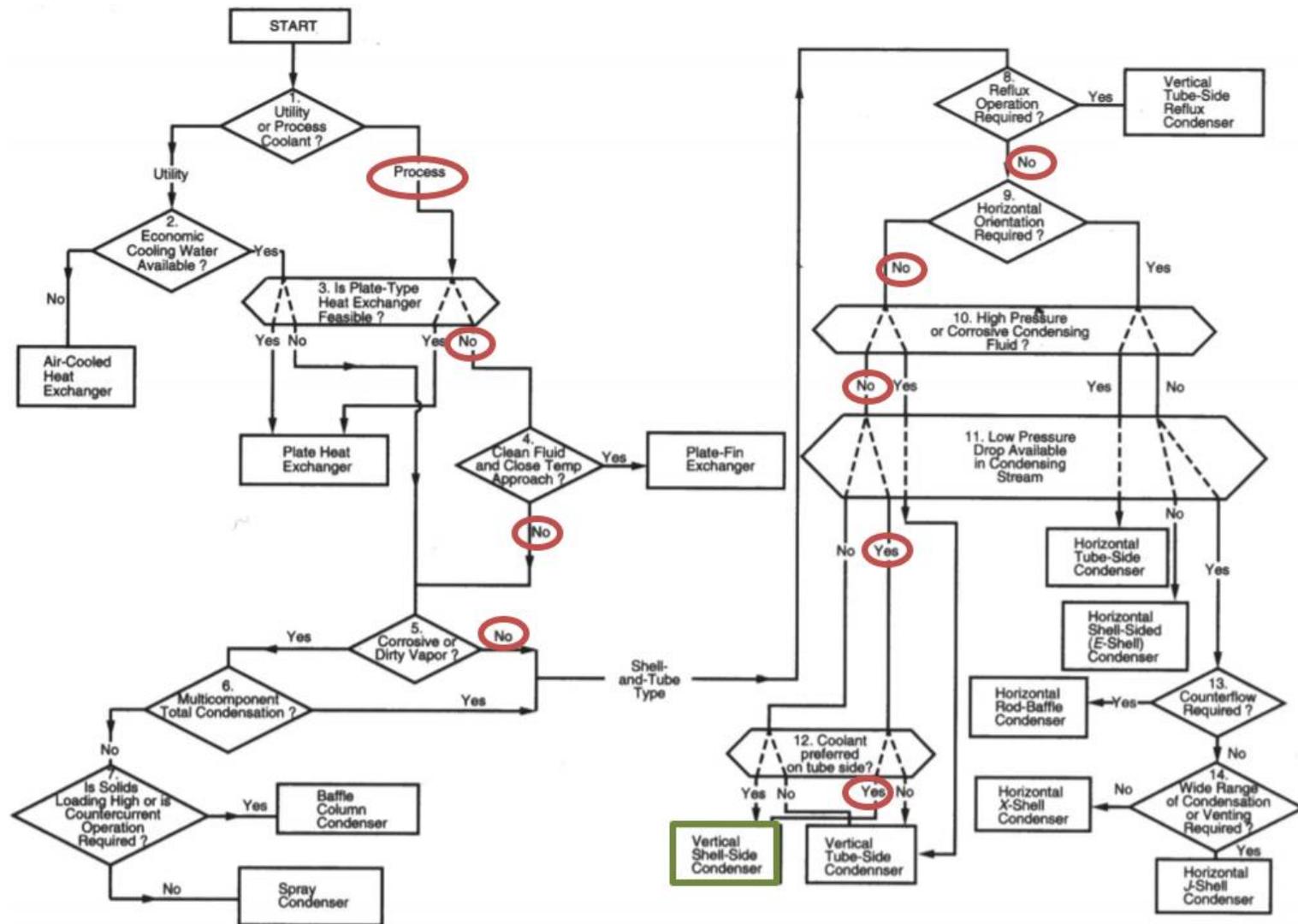


Figura 2.4.1. Guía general para la selección del tipo de condensador. (ref. 12)

2.4.5. Selección de la configuración TEMA del condensador

Una vez determinado un intercambiador de calor de carcasa y tubos es necesario decidir el tipo de cabezal frontal y de retorno y el tipo de carcasa. Para ello, se emplea la terminología TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.*).

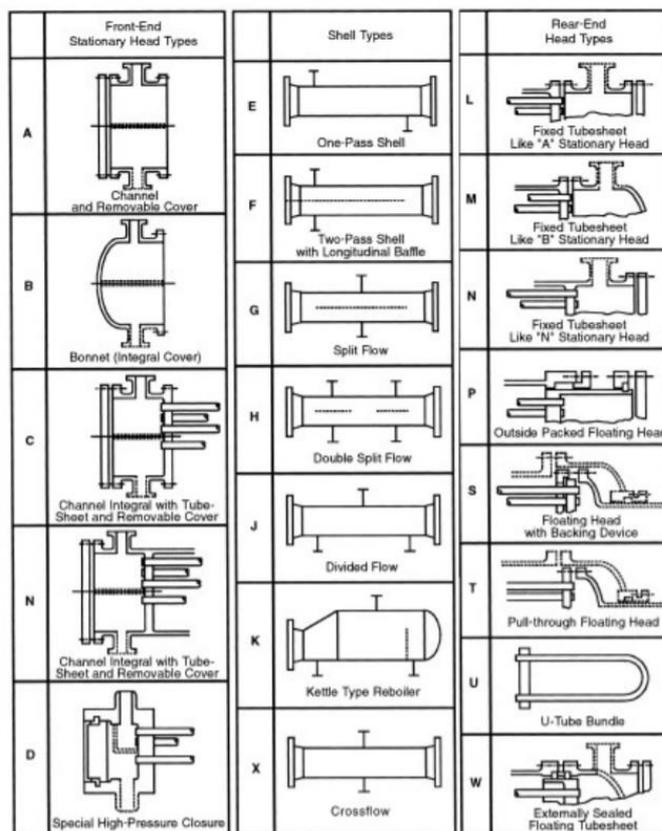


Figura 2.4.2. Tipos de carcasas estándar y tipos de cabezales frontales y de retorno (TEMA, 1999).

Por el lado tubos y cabezales fluiría MCB a 38°C a 2-3 bar. En estas condiciones se encuentra en estado líquido y es un fluido limpio y a dicha temperatura no hay riesgo de autoinflamación.

- **Cabezal frontal**

De los cabezales presentes disponibles, el C, N y D se descartan porque están orientados a fluidos peligrosos y presiones elevadas. Las alternativas para servicios a presiones normales y fluidos no peligrosos son el cabezal A y B, de estos el más económico i simple es el “*Bonnet*” (tapa i distribuidor en una sola pieza) que puede emplearse ya que el MCB es un fluido limpio.

- **Carcasa**

Después se selecciona el tipo de carcasa, donde se llevará a cabo la condensación, los tipos utilizados son E, X o J.

La carcasa E es la más barata y utilizada, pero da bastante pérdida de carga, aunque puede mejorarse con baffles tipo “*Rod*”.

La X, presenta un flujo cruzado y por eso necesitan incrementos de temperatura disponibles más grandes entre fluidos, son más caras porque hay que incorporar distribuidores de vapor, pero generan una pérdida de carga reducida.

Y finalmente, la carcasa J tiene dos entradas en los extremos y los vapores se dirigen al centro, tiene una pérdida de carga mayor que la de tipo X, pero menor que E.

Para el diseño preliminar se empleará una carcasa tipo E y se evaluará si la pérdida de carga es asumible.

- **Cabezales de retorno**

Los cabezales de retorno se clasifican en tres categorías:

- **Placa tubular fija (L, M, N):** Se puede emplear si no hay incrementos de temperatura superiores a 50°C. De estos, la única opción que va con un cabezal frontal B es el M.
- **Tubos en U:** Diseño sencillo que permite extraer el haz de tubos y una limpieza mecánica en carcasa. Puede ir con un cabezal B.
- **Cabezal flotante o haz de tubos extraíble (P, S, T, W):** Presentan una separación entre carcasa i el haz de tubos superior a los de placa tubular fija y tubos en U. Pueden presentar fugas al exterior, pero permiten dilataciones del material con incrementos de temperatura elevados.

Tras este análisis hay dos opciones sencillas y de menor coste posibles: una configuración BEM o BEU. Para seleccionar la mejor alternativa se realiza una matriz de riesgo (tabla 2.4.2) donde se evalúa:

- **Haz de tubos extraíble**

Una configuración BEU permite retirar el haz de tubos así pudiendo realizar inspecciones y limpiezas del lado de la carcasa de forma sencilla. Por el contrario, en el BEM no pueden extraerse y si es necesario remplazar el haz de tubos es necesario cortar la sección de la carcasa. (ref. 10)

- **Eficiencia del servicio**

La configuración BEM es la más versátil de los intercambiadores de carcasa y tubos. Y si se diseña para un único paso por tubos se puede obtener flujo en contracorriente puro. En cambio, una configuración BEU presentas 2 o múltiples pasos por tubos, por lo cual limita el servicio a operaciones sin cruce de temperaturas entre el fluido caliente y frío ya que hay una parte en contracorriente y otra a co-corriente. (ref. 10) Pero a mayor número de pasos, aumentan las velocidades lineales de flujo y el coeficiente global así disminuyendo el área necesaria para la transferencia de calor y la formación de incrustaciones. Como desventaja, aumenta la caída de presión y el coste de bombeo y de una geometría más compleja aumenta.

- **Limpieza del lado tubos**

La formación de incrustaciones provoca una caída de presión y reducción notable de la transferencia de calor por eso es importante la limpieza y mantenimiento de los intercambiadores de calor.

En intercambiadores BEM la limpieza de los tubos puede ser mecánica, por ejemplo, con varillas, o química. En cambio, en el BEU al tener múltiples pasos por tubo dificulta una limpieza mecánica.

Tabla 2.4.5. Matriz de riesgo para la selección de la configuración del condensador adicional.

	BEM	BEU
Haz de tubos extraíble y limpieza del lado carcasa		
Limpieza interna de tubos		
Eficiencia del servicio		

Se selecciona un BEU ya que el fluido sucio, el de proceso, se envía por carcasa y esta configuración presenta mejores características como se refleja en la matriz de riesgo de la tabla 2.4.5.

2.4.6. Soportes del equipo

El condensador se situará en posición vertical y con cabezales elipsoidales. Como el fondo no es plano y debe situarse a una altura superior al 07W02 es necesario el uso de soportes para sujetar el equipo. Las principales técnicas son: uso de una estructura con agarraderas (*Lugs/Brackets*) y tener el tanque colgando de esta, emplear patas o un faldón alrededor del equipo soportado con patas.

Tabla 2.4.6. Matriz de riesgo para la selección de los soportes del condensador adicional.

	Estructura con agarraderas	Patas	Faldón con patas
Permite dilataciones axiales			
Uso de infraestructura ya existente			
Fácil acceso a la instrumentación			
Estabilidad del equipo			
Ampliaciones futuras			

En este caso, se situará el condensador anclado por los laterales a una estructura para facilitar el mantenimiento y así emplear la infraestructura ya existente de *Covestro*. Estos soportes permiten dilataciones por temperatura en el material y así poder mejorar el ciclo de vida de este.

2.5. Planificación del proyecto

En la Figura 2.5.1. se presenta la planificación que se ha llevado a cabo para determinar el espacio de tiempo que requiere cada tarea del proyecto, cabe destacar que el diagrama de la figura muestra la versión definitiva de la planificación, ya que debido a diferentes factores determinadas tareas han requerido más tiempo de lo previsto inicialmente, y, por consiguiente, el diagrama se ha estado revisando y modificando en los momentos necesarios.

Una de las tareas esenciales y críticas para el desarrollo del proyecto ha sido el estudio del funcionamiento del condensador 07W02 para poder estudiar y analizar la solución óptima, que para esto se ha realizado el estudio de las alternativas, de tal forma que no se podía avanzar con los diferentes diseños hasta seleccionar la alternativa conveniente. Una vez se ha seleccionado ésta, se procede con el diseño térmico, mecánico y el resto de los diseños y estudios.

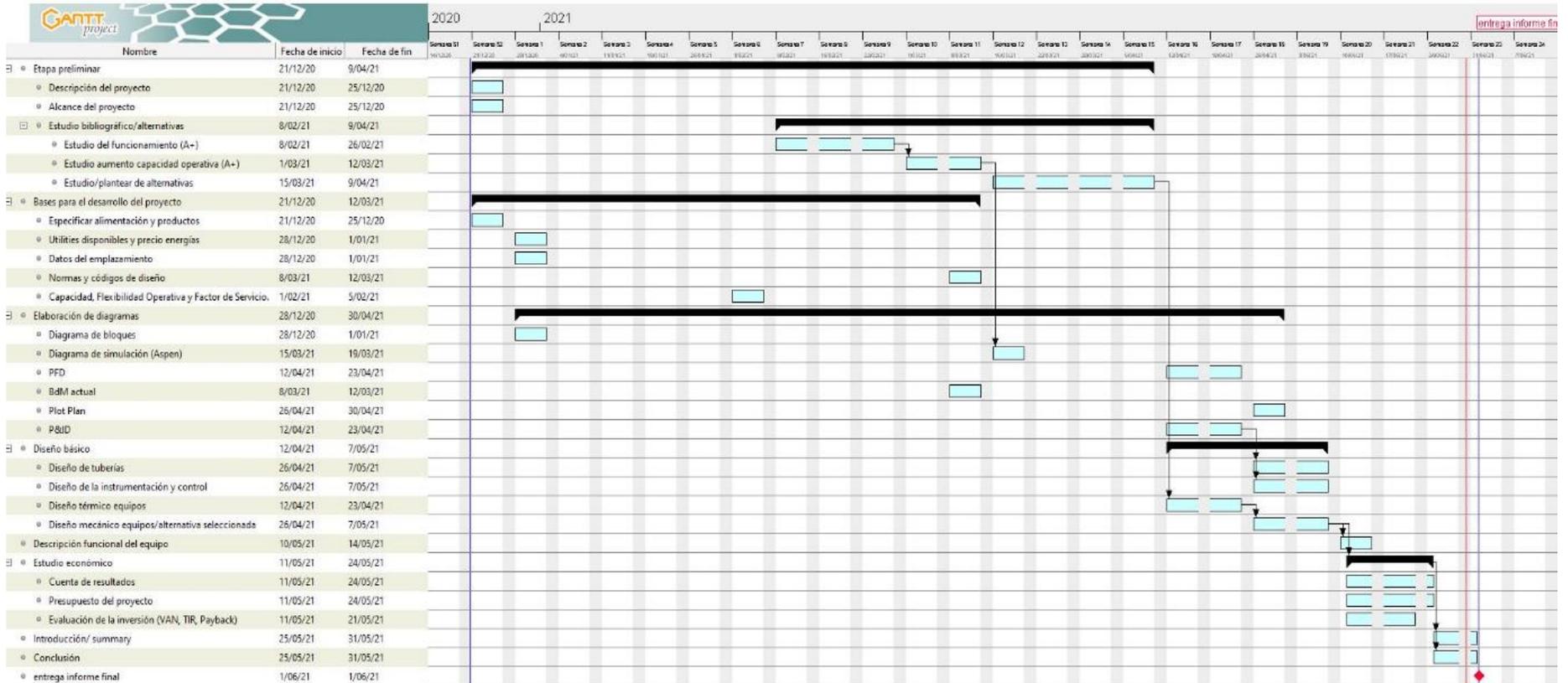


Figura 2.5.1. Diagrama Gantt.

3. BASES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Bases de diseño

3.1.1. Especificaciones de alimentación

El caudal de alimentación del evaporador 07W01 está compuesto por clorobenceno (MCB), MDI monómero, MDI polimérico y fenilsocianato (PHI).

El objetivo de estudio es una ampliación de la producción del 30% donde las composiciones y caudales de entrada al equipo se muestran en la tabla 3.1.1.

Tabla 3.1.1. Caudal y composición de alimentación al evaporador 07W01.

	Corriente 419	
	Actual	Ampliación del 30%
MCB (% w)	1.51	1.10
MDI monómero (% w)	51.55	51.91
MDI polímero (% w)	46.94	46.90
PHI (% w)	0.001	0.09
Total (Tn/h)	19.05	28.03

3.1.2. Capacidad, flexibilidad operativa i factor de servicio

La producción anual de MDI es de 150 MTn/año, y dentro de las etapas de destilación se encuentran los equipos de estudio de la ampliación, el evaporador 07W01 y el condensador 07W02, que tienen un factor de servicio de 8800 h/año.

La flexibilidad operativa de estos equipos debe permitir un rango mínimo de caudal de alimentación al evaporador de 19.05 a 28.03 Tn/h para poder asumir la ampliación.

3.1.3. Especificaciones de los productos

La fase líquida de salida del intercambiador de calor debe ser una condensación total o parcial de la mayor parte de MCB y PHI para reducir el caudal que va a las bombas de vacío.

La salida en fase gas del condensador debe estar conformada por fenilsocianato (PHI) y monoclorobenceno (MCB) que no hayan podido condensarse, así como tener una presencia mínima o nula de MDI. Esta corriente debe alcanzar una temperatura de salida mínima de 42°C, la cual dista de la obtenida en planta de 72°C y que presenta caudal de MDI.

3.2. Datos básicos para el desarrollo de la ingeniería

3.2.1. Energías disponibles

Se considera que las energías necesarias para el proceso ya las suministra *Covestro* ya que se trata de una ampliación de una instalación ya existente, sin embargo, para la nueva instalación se deben especificar las *utilities* que se deben suministrar.

- **Aire**

Para el correcto funcionamiento de la nueva instalación se ha de implementar y mantener los sistemas de control del equipo, y para ello hace falta el aire comprimido de instrumentación.

Covestro ya dispone de este servicio en planta.

- **MCB**

El refrigerante utilizado será el MCB, este producto, ya formaba parte de la producción de Covestro, por lo tanto, es un producto que no tiene un coste adicional para la nueva instalación, no se tendrá que comprar si no que se podrá reutilizar. El MCB disponible está a una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, por consiguiente, se prevé una recirculación con bomba propia desde $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre el propio 07W02.2, con aportación de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y extracción del circuito propio de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, que ayude a evacuar el calor extraído del 07W02.

Tabla 3.2.1. Especificaciones del MCB.

<i>Utilities</i>	Proveedor	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
MCB	Covestro	-18

3.2.2. Datos del emplazamiento

La instalación donde se encuentra la empresa Covestro es en el polígono químico sur, Acceso Vial dels Prats, 43110. La Canonja.

El objetivo ha sido instalar un condensador adicional a continuación del 07W02 (que es el condensador actual), con el objetivo de poder condensar todo MDI posible. Dicho condensador trabajará con una entrada de MDI a $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ procedente del condensador anterior y con un corriente de MCB que actuará como refrigerante que trabajará a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A continuación, en la Figura 3.3.1 se encuentra la ubicación de la planta de Covestro.



Figura 3.2.1. Emplazamiento de Covestro.

La planta está situada en La Canonja, un municipio de la comarca del Tarragonés. Cuenta con una población de 6000 habitantes aproximadamente y con una superficie de 7,32 kilómetros cuadrados, dentro de su territorio está la gran mayoría de las empresas petroquímicas de la zona.

3.2.2.2 Climáticos, pluviométricos y sísmicos

La provincia de Tarragona es una zona costera que presenta un clima Mediterráneo Litoral del Sur. Esta proximidad del mar causa dos efectos. El primero es que la humedad sea elevada y con una media anual del 76% (Servicio Metrológico de Cataluña) y el segundo es que suaviza las temperaturas y el verano tiene una durada corta y raramente se superan los $31\text{ }^{\circ}\text{C}$, así como en invierno generalmente no baja de los $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las precipitaciones más abundantes se localizan en las estaciones de primavera y otoño donde se superan los 60 mm.

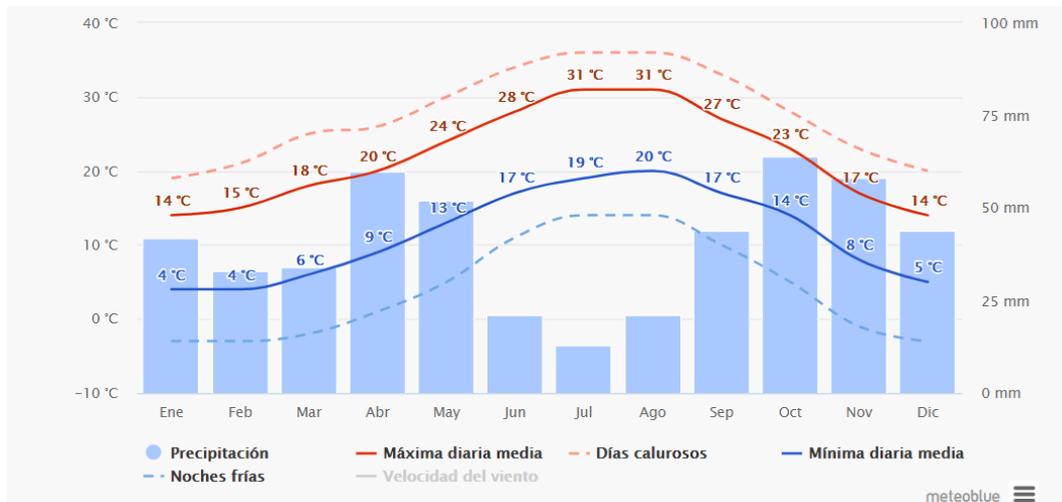


Figura 3.2.2. Temperatura media y precipitaciones en la provincia Tarragona de los últimos 30 años. (ref. 13)

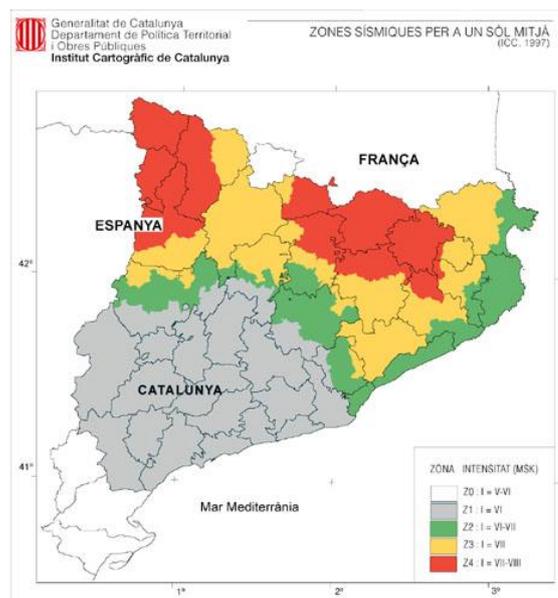


Figura 3.2.3. Mapa de zonas sísmicas en Catalunya ocurridas desde el siglo XIII. (ref. 9)

Tarragona se encuentra sobre la falla de levante y en la figura 3.2.3, se observa que el municipio pertenece a la zona Z1, por lo cual el grado de sismicidad es bajo.

3.2.3. Normas y códigos de diseño

3.2.3.1 Recipientes

1. Diseño térmico:

- *Heat Exchanger Design Handbook* (HEDH).
- *Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.* (TEMA).

2. Diseño mecánico:

- Código AD2000-Merblatter *Technical Rules for Pressure Vessels*: normativa vigente en Alemania para recipientes sometidos a presión.
- *Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.* (TEMA).
- Normas DIN.

3.2.3.2 **Tuberías e instrumentación**

- Normas DIN.

4. DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA

4.1. Diagrama de bloques

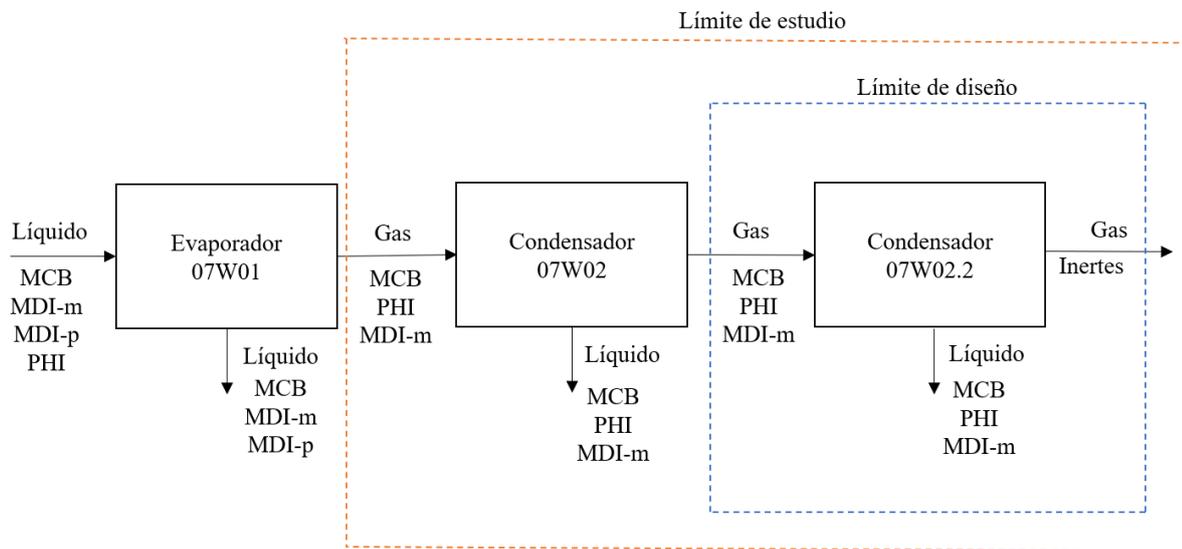
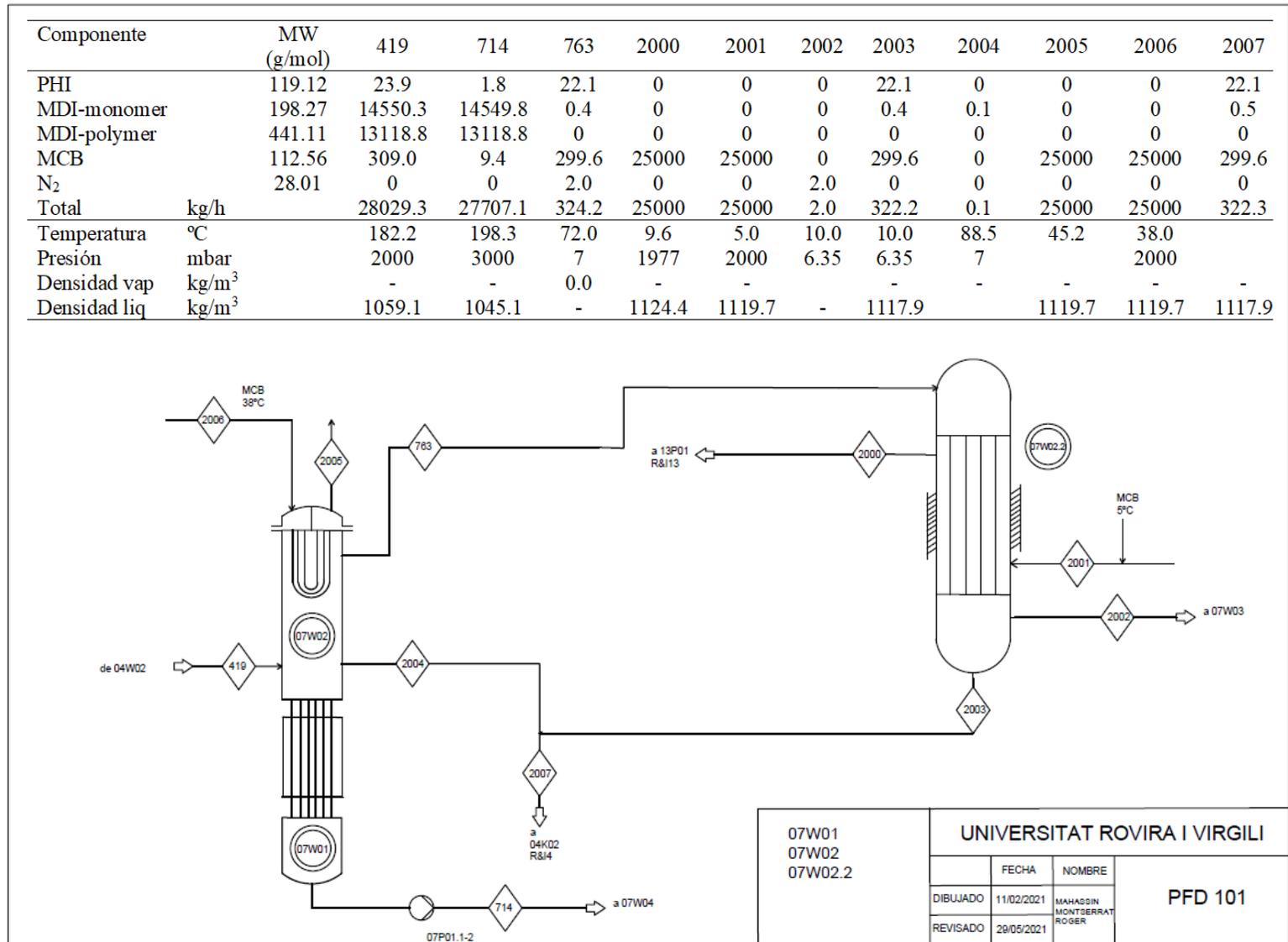


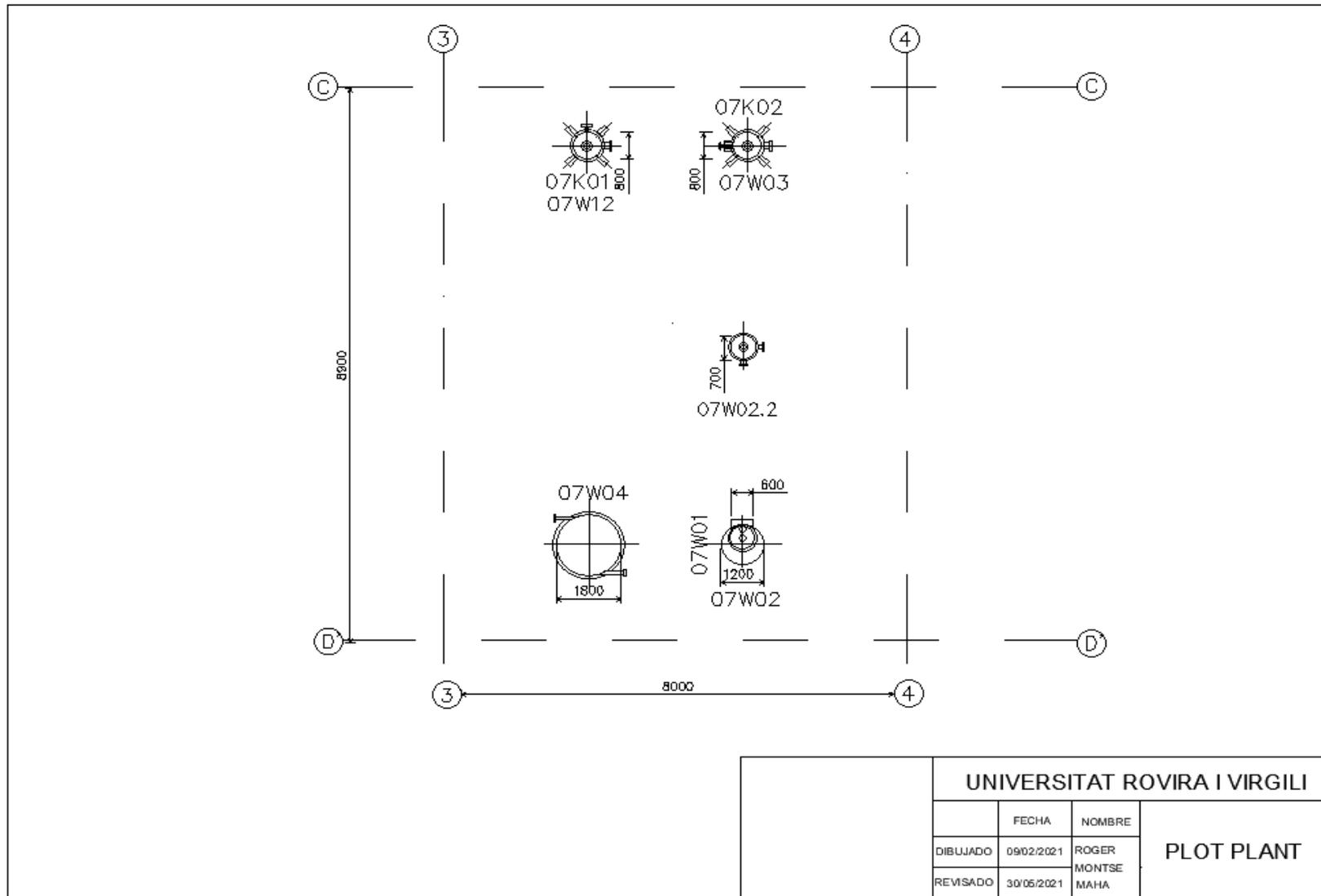
Figura 4.1.1. Diagrama de bloques.

4.2. Diagrama de flujo de proceso (PFD)



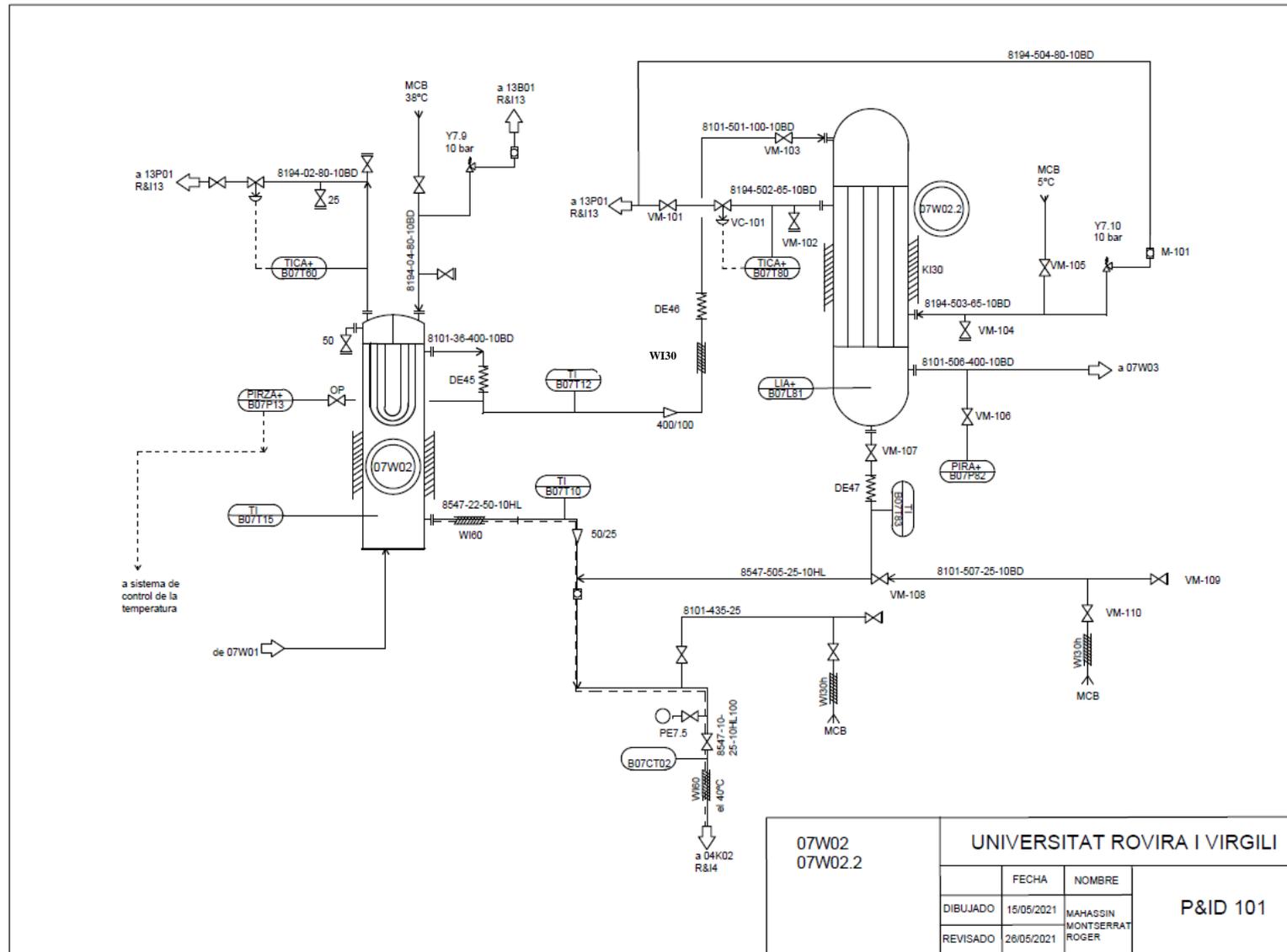


4.3. Diagrama de implantación (Plot Plan)





4.4. Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID)



07W02 07W02.2	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		
	FECHA	NOMBRE	P&ID 101
	DIBUJADO 15/05/2021	MAHASSIN MONTSERRAT ROGER	
REVISADO 26/05/2021			

4.4.1. Tabla de simbología

Tabla 4.4.1. Simbología de los elementos del proceso

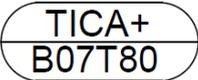
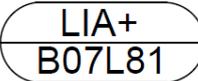
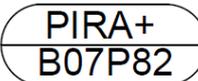
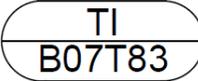
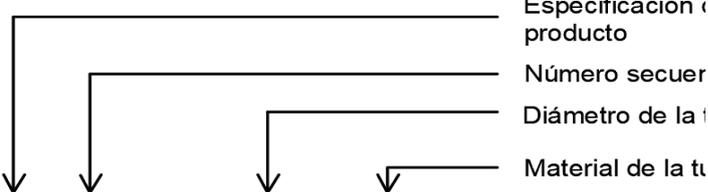
Símbolo	Designación	Descripción
	VM	Válvula manual
	VC	Válvula de control
	PSV	Válvula de seguridad
	VM	Purga
	TICA+	Transmisor de temperatura con alarma de nivel alto
	LIA+	Transmisor de nivel con alarma de nivel alto
	PIRA+	Transmisor de presión y registro con alarma de nivel alto
	TI	Transmisor de temperatura
		Tubería

Tabla 4.4.2. Simbología de los elementos del proceso

Símbolo	Designación	Descripción
	DEXX	Compensador
	WIXX KIXX	Calorifugado de calor Calorifugado de frío
	M-101	Mirilla
	-	Bridas
	-	Reductor
	N1	Injerto de entrada del producto
	N2	Injerto de salida del refrigerante
	N3	Injerto de entrada del refrigerante
	N4	Injerto de salida del venteo
	N5	Injerto de salida del condensado
	N6	Injerto para el transmisor de nivel de líquido
	-	Traceado eléctrico de la tubería

4.5. Diseño del condensador con refrigerante de MCB a 38°C

El condensador adicional debe permitir reducir el caudal de gas para mejorar la capacidad de bombeo de las bombas de vacío posteriores. Pero este caudal contiene, aunque de forma minoritaria MDI, el cual solidifica a temperaturas inferiores a 40°C y tapa las líneas. Por este motivo, el refrigerante disponible y recomendado para la operación es MCB a 38°C.

4.5.1. Condiciones de operación y diseño

El equipo debe satisfacer los requisitos térmicos e hidráulicos recogidos en la tabla 4.5.1. En esta también se definen las propiedades de los fluidos obtenidas del *Aspen Exchanger Design & Rating*.

Tabla 4.5.1. Condiciones de operación y diseño y propiedades de los compuestos evaluadas a la presión de entrada.

		Carcasa	Tubos
Fluido	-	Caliente	Frío
Fracción másica compuestos	-	93.01% MCB; 6.86% PHI; 0.12% MDI	100% MCB
Presión entrada	barg	0.007	2
Máxima pérdida de carga admisible	barg	0.0007	0.4
Caudal másico	kg/h	322	-
Temperatura entrada	°C	72	38
Temperatura salida	°C	42	-
Resistencia <i>fouling</i>	m ² K/W	0.0002	0.0002
Densidad del líquido	kg/m ³	1171.21	1083.71
Densidad del gas	kg/m ³	0.02	-
Capacidad calorífica	J/kgK	-	1348.15
Conductividad térmica	W/mK	0.11	0.12
Viscosidad del líquido	Ns/m ²	2.38·10 ⁻⁵	6.14·10 ⁻⁵
Viscosidad del gas	Ns/m ²	8.26·10 ⁻⁵	-

4.5.2. Diseño térmico e hidráulico

Para el diseño del condensador adicional se emplea una configuración BEU siguiendo el criterio evaluado en el apartado de alternativas 2.4.5. Para satisfacer las condiciones de operación y de diseño se realiza un estudio térmico para evaluar el área necesaria y el estudio hidráulico para garantizar pérdidas de carga admisibles. Estos se han realizado mediante una primera base de cálculo con el método LMTD y el método Kern, y posteriormente se ha simulado el intercambiador en *Aspen Exchanger Design & Rating VII* que realiza una evaluación con *Advanced Method*.

El método LMTD permite seleccionar el intercambiador y su geometría. Y el método Kern permite determinar cómo se comportará el fluido, pero se limita a operaciones sin cambio de fases, por este motivo se ha aplicado únicamente en el lado de tubos.

- **Determinación del calor intercambiado**

Para determinar el calor de intercambio necesario se emplea la ecuación 4.2.1, para la cual se han empleado las entalpías específicas obtenida de las propiedades del programa *Aspen Exchanger Desing & Rating VII* de entrada (a 72°C) y salida (a 42°C) siendo 428.5 y 457.4 kJ/kg respectivamente ya que ocurre cambio de fase en el lado carcasa. El resultado de la ecuación 4.5.1 da un calor de 2.58 kW.

$$Q = m_c \cdot (h_{1,c} - h_{2,c}) \quad (4.5.1)$$

- **Determinación del caudal de refringente, del incremento de temperatura media logarítmica y del factor corrector**

Para obtener mayores eficiencias de transferencia de calor se opera con un flujo en contracorriente de múltiples pasos, por esto el incremento de temperatura media logarítmica se determina con la expresión 4.5.2.

Al no constar de un único tubo recto se necesita un factor corrector determinado mediante la figura 4.5.1, donde se requiere un valor superior a 0.75 para que sea viable económicamente. Pero primero hay que determinar la temperatura de salida por tubos para calcular P y R, la cual se obtiene según la ecuación 4.5.3 ya que el MCB a 2 barg no presentará cambio de fase.

Para aplicar dicha ecuación se ha supuesto un caudal por tubos de 3500 kg/h para que permita obtener un factor corrector de 1 y así minimizar el área necesaria y con ello los costes del equipo.

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{1,c} - T_{2,f}) - (T_{2,c} - T_{1,f})}{\ln\left(\frac{T_{1,c} - T_{2,f}}{T_{2,c} - T_{1,f}}\right)} \quad (4.5.2)$$

$$Q = m_f \cdot C_{p_f} \cdot (T_{2,f} - T_{1,f}) \quad (4.5.3)$$

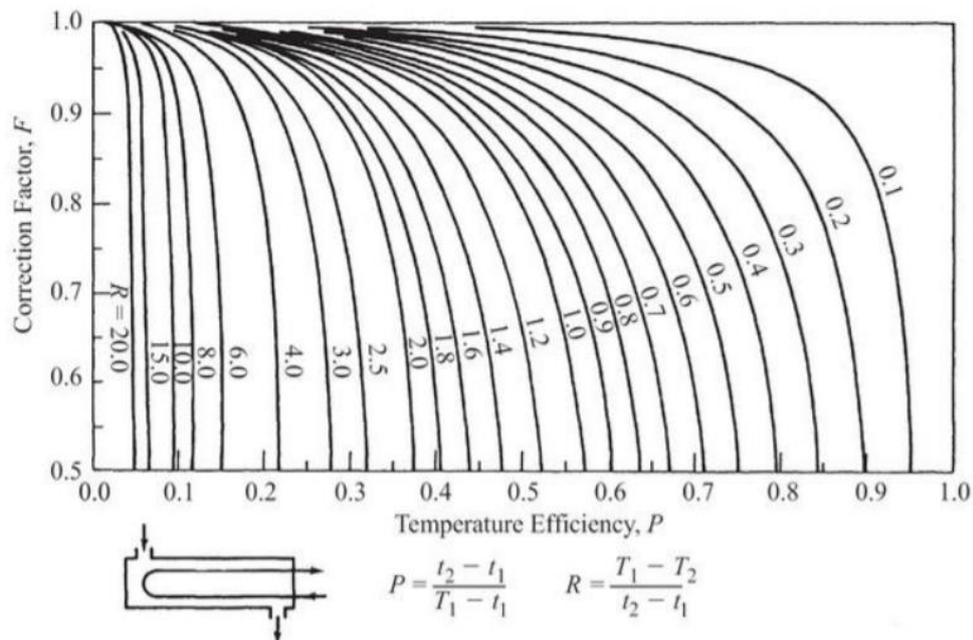


Figura 4.5.1. Factor de corrección de la diferencia de temperatura media logarítmica para intercambiadores de carcasa y tubo con 1 paso por carcasa y 2 pasos por tubos. (ref. 12)

Tabla 4.5.2. Valores obtenidos del incremento de temperatura media logarítmica, caudal de refrigerante y factor corrector.

ΔT_{LM} (K)	13.47
m_f (kg/h)	3500
F	1

- **Determinación del área de intercambio necesaria**

El área de intercambio necesaria puede determinarse mediante la ecuación 4.5.4. Y el coeficiente global de transferencia de calor (U) se ha calculado mediante *Aspen Exchanger Design and Rating V.11* y es de 4.2 W/m²K. Con esto se obtiene un área de intercambio necesaria de 45.68 m².

$$Q = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{LM} \cdot F \quad (4.5.4)$$

- **Selección y diseño de los tubos**

Para los tubos se establece un diámetro externo estándar habitual de 19.05 mm (3/4") que permite intercambiadores más compactos. Y se determina como valor inicial una longitud típica de 2440 mm (8 pies).

Para determinar el diámetro interno preliminar se ha empleado un valor estándar de 2 mm para tubos de acero.

Tabla 4.5.3. Valor obtenido de la selección y diseño de los tubos.

D (mm)	19.05
Espesor (mm)	2
L_t (mm)	2440

- **Determinación del número de tubos necesarios**

Una vez conocido el área necesaria y establecida la longitud de los tubos, con tal de cumplir ambos requisitos deben emplearse diversos tubos y la cantidad necesaria se determina según la ecuación 4.5.5, obteniéndose un valor de 312.83, y eso implicaría poner 313 tubos.

$$N_t = \frac{A_s}{L_t \cdot a'} \quad (4.5.5)$$

$$a' = \pi \cdot D \quad (4.5.6)$$

- **Dimensionamiento del número de pasos por tubo, disposición y separación entre tubos del haz tubular**

El condensador BEU se dimensionará con dos pasos por tubos y uno por carcasa ya que el factor de corrección del intercambiador es 1 y no será necesario recurrir a más pasos.

Las disposiciones habituales son triangular o cuadrangular, en este caso se selecciona esta última, aunque permita albergar un menor número de tubos ya que permite obtener bajas caídas de presión en el lado de la carcasa y una limpieza con medios mecánicos. Para este tipo de disposición o arreglo de los tubos en el haz y un diámetro externo de tubería 19.05 mm, se recomienda una separación entre centros de tubos (P_t) de 1.25 veces el diámetro exterior del

tubo (ecuación 4.5.7), como resultado 25.4 mm (1 pulgada). Y con la ecuación 4.5.8 se obtiene la mínima distancia entre tubos, con valor de 6.35 mm.

$$P_t = 1.25 \cdot D \quad (4.5.7)$$

$$P_t - D = C \quad (4.5.8)$$

- **Selección del diámetro y número de tubos para una carcasa estándar y recálculo del área de intercambio para estos nuevos valores**

El diámetro de la carcasa debe permitir contener los tubos y dejar un espacio ‘luz’ entre el diámetro del haz de tubos y el diámetro interno de la carcasa. Este depende de la configuración del número de pasos y del tipo de placa de tubos.

Hay tres tipos de placas que sostienen los tubos en sus extremos: fija, de cabezal flotante y de tubos en U. Las placas fijas y en U son las que permiten conseguir diámetros de carcasa más pequeños, y en este caso como es una configuración BEU se emplea la placa de tubos en U.

Conocido el diámetro externo de los tubos de 19.05 mm, un pitch de 25.4 mm en disposición cuadrangular, 2 pasos por carcasa y placa de tubos en U se puede seleccionar un tamaño de carcasa estándar del mercado en función del número de tubos necesario. Esto se realiza mediante la tabla 4.5.5, en la cual se coge un valor de carcasa para un número de tubos igual o mayor al mínimo necesario (N_t) para satisfacer los requisitos térmicos.

Una vez obtenido el número de tubos y el diámetro interno de la carcasa se recalcula el área disponible de intercambio mediante la ecuación 4.5.5.

Tabla 4.5.4. Número de tubos y diámetro de la carcasa estándares y área de intercambio disponible.

N_t (estándar)	358
Diámetro interno de la carcasa (mm)	591
A_s (m ²) (disponible)	52.28

Tabla 4.5.5. Recuento de tubos para intercambiadores de tubos en U. (ref. 12)

Shell ID, mm (in)	19.05-mm ($\frac{3}{4}$ -in) OD × 25.4-mm (1-in) pitch □				19.05-mm ($\frac{3}{4}$ -in) OD × 25.4-mm (1-in) pitch Δ				25.4-mm (1-in) OD × 31.75-mm (1 $\frac{1}{4}$ -in) pitch □			
	2 pass		4 pass		2 pass		4 pass		2 pass		4 pass	
	0.0	0.33	0.0	0.33	0.0	0.33	0.0	0.33	0.0	0.33	0.0	0.33
203 (8)	28	26	22	20	32	28	26	22	14	12	10	8
254 (10)	50	48	44	40	58	54	50	46	28	24	22	20
305 (12)	78	74	70	64	90	84	80	74	46	42	38	36
337 (13 $\frac{1}{4}$)	100	94	90	84	114	106	104	96	58	54	52	48
387 (15 $\frac{1}{4}$)	140	130	128	118	160	150	148	136	82	76	74	68
438 (17 $\frac{1}{4}$)	184	170	172	160	212	196	198	182	110	102	102	94
489 (19 $\frac{1}{4}$)	236	220	222	206	272	252	256	236	142	132	134	122
540 (21 $\frac{1}{4}$)	294	272	280	258	338	314	322	296	178	164	170	156
591 (23 $\frac{1}{4}$)	358	330	342	314	414	382	394	364	218	200	208	190
635 (25)	420	388	402	370	484	448	462	426	256	236	246	226
686 (27)	496	458	476	440	572	530	550	506	304	282	292	270
737 (29)	578	534	558	514	666	616	642	592	356	328	344	316
787 (31)	666	616	644	594	770	712	744	686	412	380	398	366
838 (33)	760	702	738	680	878	812	850	784	472	434	456	420
889 (35)	862	796	838	772	996	920	966	890	536	494	520	478
940 (37)	970	896	944	870	1 118	1 034	1 088	1 004	604	558	586	540
991 (39)	1 084	1 000	1 056	972	1 250	1 154	1 218	1 122	676	622	656	604
1 067 (42)	1 264	1 168	1 236	1 140	1 460	1 348	1 426	1 314	792	730	770	708
1 143 (45)	1 462	1 348	1 422	1 318	1 688	1 556	1 650	1 520	916	844	896	822
1 219 (48)	1 672	1 542	1 638	1 508	1 932	1 780	1 892	1 742	1 050	966	1 028	944
1 295 (51)	1 898	1 750	1 860	1 714	2 190	2 020	2 148	1 978	1 192	1 098	1 168	1 072
1 372 (54)	2 136	1 970	2 098	1 932	2 466	2 274	2 420	2 230	1 342	1 236	1 318	1 210
1 448 (57)	2 390	2 202	2 348	2 162	2 758	2 542	2 710	2 496	1 504	1 384	1 478	1 358
1 524 (60)	2 656	2 448	2 614	2 406	3 066	2 828	3 018	2 778	1 674	1 542	1 646	1 514

Note: 0.0 refers to full count, and 0.33 refers to reduced count.

- **Velocidad y área de paso de los tubos**

Una vez seleccionado un valor estándar de número de tubos se puede calcular el área de paso para 2 pasos por tubo con la ecuación 4.5.9 y así la velocidad, ecuación 4.5.11. Esta última, al no operar a temperaturas ni presiones elevadas ni especiales, debe estar dentro de un rango recomendado (tabla 4.5.6). Como se observa en los resultados recogidos en la tabla 4.5.7, la velocidad es muy reducida, por ello se debería plantear aumentar el número de pasos por tubos.

$$a_{pt} = \frac{N_t \cdot a''}{n} \quad (4.5.9)$$

$$a'' = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4.5.10)$$

$$V = \frac{m_f}{\rho \cdot a_{pt}} \quad (4.5.11)$$

Tabla 4.5.6. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías (ref. 11).

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Tabla 4.5.7. Valores del área de paso y la velocidad por tubos.

a_{pt} (m ²)	0.04
V (m/s)	0.02

- **Número de Reynolds, Prandtl y Nusselt de los tubos y su coeficiente de convección**

Para caracterizar el movimiento de un fluido se calcula el Reynolds (ec. 4.5.12) para saber si sigue un régimen laminar, de transición o turbulento.

$$Re = \frac{V \cdot D_i \cdot \rho}{\mu} \quad (4.5.12)$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (4.5.13)$$

Se obtiene del cálculo un Reynolds de 660.32 y un Prandtl de 6.72. Para un $Re < 2300$ (régimen laminar) se emplea la ecuación 4.5.14 para el Nusselt de Sieder-Tate (o mejor Gnielinski), y se supone una relación de viscosidades igual a 1.

$$Nu = 1.86 \cdot \frac{Re \cdot Pr}{\left(\frac{L_t}{D}\right)^{\frac{1}{3}}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (4.5.14)$$

Una vez determinado el Nusselt, con valor de 6.06, se puede conocer el coeficiente de convección en el lado de los tubos, h_{io} , de $39.24 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{D_i} \quad (4.5.15)$$

$$h_{io} = \frac{h_i \cdot D_i}{D} \quad (4.5.16)$$

- **Pérdida de carga en los tubos**

La pérdida de carga total en los tubos es la suma de la caída de presión en el tramo recto y en los cambios de paso.

$$\Delta P = \Delta P_t + \Delta P_r \quad (4.5.17)$$

Para calcular la pérdida de carga en el tramo recto de los tubos se aplica la ecuación 4.5.18, y se supone una relación de viscosidades igual a 1.

$$\Delta P_t = f \cdot \frac{L_t \cdot n}{D_i \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (4.2.18)$$

Para $Re < 2300$:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (4.5.19)$$

La pérdida de carga en los cambios de paso viene dada por la expresión 4.5.20.

$$\Delta P_t = 4n \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (4.5.20)$$

Tabla 4.5.8. Valores de pérdida de carga en el lado tubos del intercambiador de calor.

ΔP (Pa)	9.33
ΔP_t (Pa)	7.24
ΔP_r (Pa)	2.09

4.5.3. Resultados del diseño térmico con refrigerante de MCB a 38°C

Una vez realizado el estudio térmico con el método LMTD y Kern para definir una geometría preliminar del diseño, se introducen estos valores en *Aspen Exchanger Desing & Rating* en modo *Rating/Checking*.

Tabla 4.5.9. Resultados del diseño en *Aspen Exchanger Desing & Rating* en modo *Rating/Checking* del condensador a 7 mbar y refrigerante de 38°C.

	Carcasa		Tubos	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal vapor (kg/h)	322	322	0	0
Caudal líquido (kg/h)	0	0	3500	3500
Temperatura (°C)	72	42.04	38	40.12
Presión (abs) (bar)	0.007	0.0063	2	1.97
Calor intercambiado (kW)		2.6		
Coefficiente de transferencia global (W/m ² K)		4.1		
Área disponible (m ²)		50.9		

Evaluando los resultados de la tabla 4.5.9, es posible bajar la temperatura de salida a 42°C con pérdidas de carga asumibles, pero a dicha temperatura y a una presión de 7 mbar se observa que no condensa el fluido por carcasa y el intercambiador actúa como un equipo de refrigeración. Por este motivo, para poder condensar y así reducir el caudal de gas que van a las bombas de vacío será necesario bajar la temperatura. Esto, con una temperatura de entrada del fluido frío a 38°C y una configuración BEU, no será posible ya que habrá cruce de temperaturas entre las corrientes (no es termodinámicamente posible tener temperaturas de salida del fluido caliente inferiores a la temperatura de entrada del refrigerante).

Por dichas causas, debe descartarse la opción de utilizar refrigerante a 38°C y deberán plantearse diferentes alternativas que puedan solucionar el problema.

4.6. Estudio del comportamiento de la mezcla a 7 mbar

Una vez descartada la posibilidad de emplear el MCB disponible a 38°C, se evalúa el comportamiento de la mezcla de proceso para determinar los requerimientos térmicos para la condensación. Para ello, se ha empleado *Aspen Exchanger Desing & Rating*. En este se han utilizado el paquete de propiedades físicas disponible de *Aspen Propierties* y se ha introducido la composición 93.01% MCB, 6.86% PHI y 0.12% MDI.

El método de cálculo seleccionado es el de coeficientes de actividad NRTL. Este permite estimar u obtener los parámetros binarios para determinar el equilibrio de fases VLE y LLE de mezclas no ideales a presiones inferiores a 10 atm. Esto es debido a que utiliza ecuaciones de estado para la fase vapor que siguen la ley de gases ideales y solo es asumible este comportamiento a bajas presiones. (ref. 1)

Evaluando la figura 4.6.1 y la tabla 4.6.1. se observa que la temperatura de burbuja es de 11.85°C a 7 mbar y 10.26°C a 6.3 mbar (aplicando la pérdida de carga máxima asumible). Y que se requiere alcanzar temperaturas inferiores a los 21.5°C para empezar a condensar.

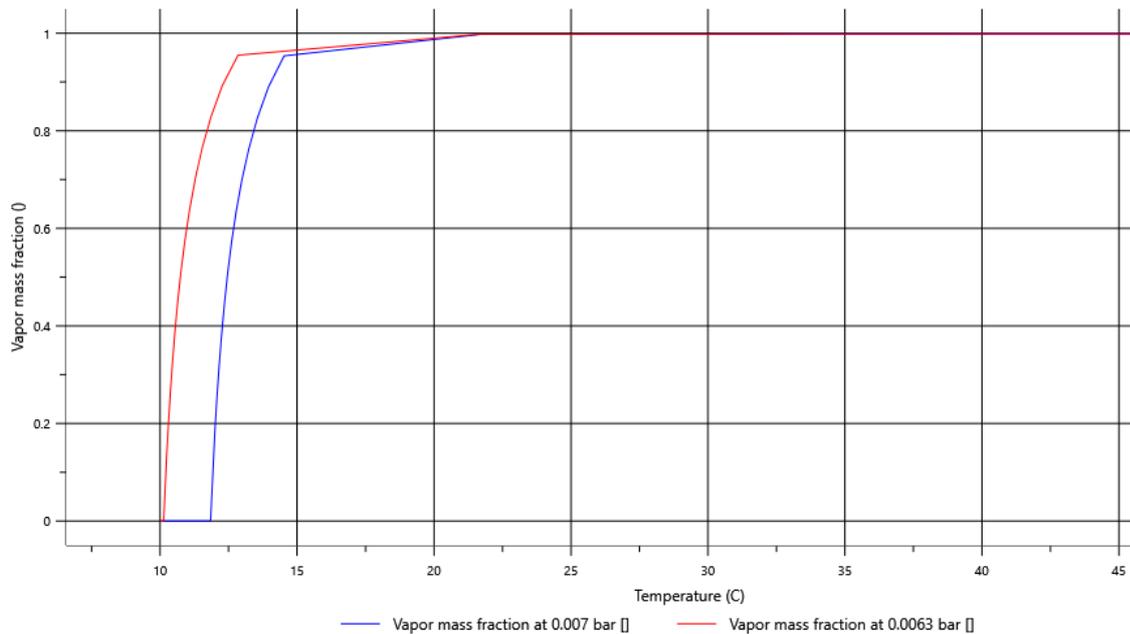


Figura 4.6.1. Fracción de vapor en función de la temperatura a 6.3 y 7 mbar para una mezcla de 93.01% MCB, 6.86% PHI, 0.12% MDI con el método NRTL. Base de resultados de: *Aspen Exchanger Design & Rating*.

Tabla 4.6.1. Composición molar de la mezcla en función de la temperatura a 7 mbar para una mezcla de 93.01% MCB, 6.86% PHI, 0.12% MDI con el método NRTL. Base de resultados de: *Aspen Exchanger Design & Rating*.

T (°C)	Fracción molar MCB		Fracción molar MDI		Fracción molar PHI	
	L	V	L	V	L	V
78.56	0.20	0.93	0.79	4.52E-04	5.70E-03	0.065
72.00	0.23	0.93	0.76	2.30E-04	7.25E-03	0.065
51.17	0.36	0.93	0.62	1.89E-05	0.017	0.066
29.11	0.57	0.93	0.37	4.49E-07	0.058	0.065
14.95	0.75	0.94	0.022	8.55E-10	0.23	0.062
14.23	0.78	0.95	6.06E-03	1.83E-10	0.21	0.053
13.82	0.80	0.95	3.53E-03	9.18E-11	0.19	0.047
13.50	0.82	0.96	2.49E-03	5.74E-11	0.18	0.041
13.24	0.84	0.96	1.92E-03	4.01E-11	0.16	0.037
13.02	0.85	0.97	1.56E-03	3.00E-11	0.15	0.033
12.83	0.87	0.97	1.31E-03	2.36E-11	0.13	0.030
12.68	0.88	0.97	1.13E-03	1.92E-11	0.12	0.027
12.54	0.88	0.98	9.94E-04	1.60E-11	0.11	0.025
12.43	0.89	0.98	8.87E-04	1.37E-11	0.11	0.023
12.33	0.90	0.98	8.00E-04	1.19E-11	0.099	0.021
12.24	0.91	0.98	7.29E-04	1.05E-11	0.093	0.020
12.16	0.91	0.98	6.70E-04	9.34E-12	0.088	0.019
12.09	0.92	0.98	6.19E-04	8.41E-12	0.083	0.018
12.03	0.92	0.98	5.76E-04	7.63E-12	0.079	0.017
11.97	0.92	0.98	5.38E-04	6.98E-12	0.075	0.016
11.84	0.93	0.99	4.52E-04	5.56E-12	0.065	0.014
10.00	0.93	0	4.52E-04	0	0.065	0

4.7. Diseño del condensador con refrigerante de MCB a 5°C

Una propuesta para reducir el caudal de gas que va a las líneas de vacío y disminuir el paso de MDI, es realizar una condensación con MCB a 5°C como refrigerante. Esto permitirá garantizar una diferencia de temperatura suficiente entre las corrientes a intercambiar y alcanzar una temperatura de salida de 10°C del fluido caliente. Esta temperatura de salida está por debajo de la temperatura de burbuja de la mezcla y podría condensarse totalmente si se dispone de área de intercambio suficiente.

El único inconveniente es que al bajar la temperatura por debajo de 40°C el 0.12% MDI presente en la corriente puede solidificar y formar incrustaciones que tapen las líneas y disminuyan el rendimiento del equipo. Para solucionar el problema, se enviará por tubos el fluido de proceso ya que pueden obtenerse velocidades más altas aumentando los pasos por tubo y es más fácil su limpieza.

4.7.1. Condiciones de operación y diseño

El equipo debe satisfacer los requisitos térmicos e hidráulicos recogidos en la tabla 4.7.1.

Tabla 4.7.1. Condiciones de operación y diseño del nuevo intercambiador de calor.

		Tubos	Carcasa
Fluido	-	Caliente	Frío
Fracción másica compuestos	-	93.01% MCB; 6.86% PHI; 0.12% MDI	100% MCB
Presión entrada	barg	0.007	2
Máxima pérdida de carga admisible	barg	0.0007	0.4
Caudal másico	kg/h	322	25000
Temperatura entrada	°C	72	5
Temperatura salida	°C	10	-
Resistencia <i>fouling</i>	m ² K/W	0.00025	0.0002

4.7.2. Diseño térmico e hidráulico

El diseño será para un condensador vertical con condensación en el lado tubos.

Se emplea *Aspen Exchanger Design & Rating* en modo *Design (Sizing)* para dimensionar el equipo para los requerimientos térmicos del apartado 4.7.1 y una vez definida la geometría se cambia al modo *Rating/Checking* para evaluar el diseño térmico e hidráulico.

Tabla 4.7.2. Métodos empleados en la evaluación del condensador.

Método de cálculo	<i>Advanced method</i>
Método de transferencia de calor para condensación multicomponente	HTFS - Silver Bell

- Diseño geométrico del condensador 07W02.2

Se decide cambiar de una configuración BEU a un BEM para tener mayor facilidad de limpieza de los tubos y para operar con un solo paso por carcasa para tener un flujo en contracorriente. Para conseguirlo, se alimentarán los gases por cabeza y caerá por gravedad el condensado.

Esta configuración con un único paso por tubos y el calor necesario para la condensación puede implicar un aumento del área necesaria, por ello, y para no tener longitud de tubos muy grandes, se utilizará una distribución triangular para poder albergar un mayor número de tubos en el haz tubular.

En la tabla 4.7.3 se recogen los valores geométricos obtenidos del diseño en *Aspen Exchanger Design & Rating*. El diámetro interno de la carcasa y a longitud de los tubos dan valores razonables típicos de intercambiadores de carcasa y tubos y asumibles para la instalación.

Tabla 4.7.3. Resultados geométricos del modo *Design (Sizing)*.

Valores geométricos	
Diámetro interno carcasa (mm)	700
Número de tubos	707
Longitud de los tubos (mm)	3150
Diámetro externo tubos (mm)	19.05
Pitch (mm)	23.81
Pasos por tubos	1
Espacio centro-centro <i>baffles</i>	530
Número de <i>baffles</i> de segmentado sencillo	4

- **Evaluación del diseño térmico e hidráulico del condensador 07W02.2**

Una vez obtenida la geometría se evalúa si el área disponible está por debajo o en exceso de la necesaria para llevar a cabo la condensación del fluido caliente de proceso. Para ello se aplica el modo *Rating/Checking*.

En la figura 4.7.1 se observa el perfil de temperaturas a lo largo del condensador, en esta puede verse que opera en contracorriente pura y que los primeros 1750 mm de tubos es donde ocurre la mayor parte de refrigeración del fluido caliente.

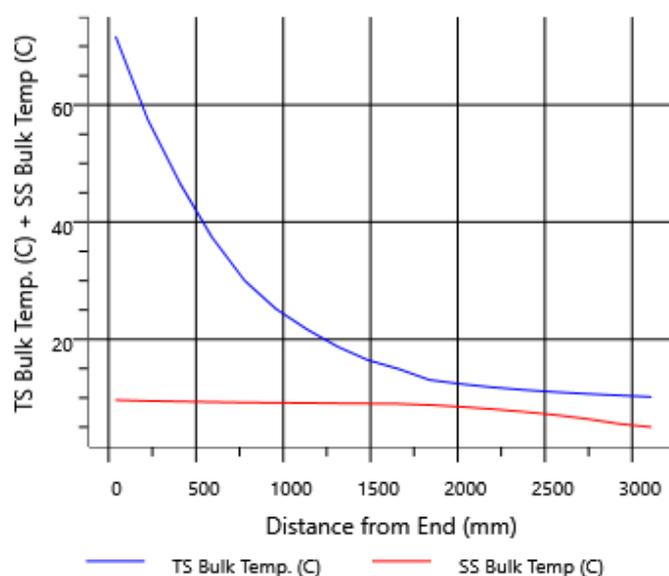


Figura 4.7.1. Perfil de temperaturas del condensador 07W02.2 a 7 mbar y 93.01% MCB; 6.86% PHI; 0.12% MDI en el corriente caliente y 100% MCB en el corriente frío.

Los resultados obtenidos permiten cumplir los requisitos térmicos de enfriar a 10°C y condensar todo el fluido de proceso. También se satisfacen los requisitos hidráulicos de obtener pérdidas de carga inferiores al 10% a la salida de los tubos.

El intercambiador está sobredimensionado con un exceso de área de un 14% para asegurar diferencias que pueda haber entre los valores teóricos y reales y así garantizar el correcto funcionamiento en caso de incrustaciones que reduzcan la eficiencia.

Tabla 4.7.4. Resultados del diseño en *Aspen Exchanger Desing & Rating* en modo *Rating/Checking* del condensador a 7 mbar y refrigerante de 5°C.

	Carcasa		Tubos	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal vapor (kg/h)	0	0	322	0
Caudal líquido (kg/h)	25000	25000	0	322
Temperatura (°C)	5	9.64	72	9.99
Presión (abs) (bar)	2	1.98	0.007	0.0063
Velocidad (media/ máxima)	0.06/0.07		12.89/25.78	
Calor intercambiado (kW)			38.1	
Coefficiente de transferencia global (W/m ² K)			62.2	
Área disponible (m ²)			130.2	
Exceso de área (%)			14	

Aspen Exchanger Desing & Rating también ofrece un análisis del flujo por carcasa para determinar corrientes de fugas y *by-pass* para corregir la dispersión de errores en función del tipo de construcción. En la tabla 4.7.5 se puede ver reflejado que la mayor parte del fluido hace el recorrido esperado de flujo cruzado y que las fugas son muy bajas y aumentan ligeramente en la mitad del intercambiador.

- **Corriente A:** Corriente que fuga por el espacio que queda entre la pared del tubo y el agujero del *baffle*.
- **Corriente B:** Corriente principal que cruza el haz de tubos. La pérdida de carga que experimenta actúa como fuerza impulsora para el resto de los corrientes y fuerza a parte del fluido a pasar por las áreas de fuga.
- **Corriente C:** Corriente que fuga entre el haz de tubos y la carcasa.
- **Corriente E:** Corriente que fuga entre el borde del *baffle* y la pared de la carcasa.

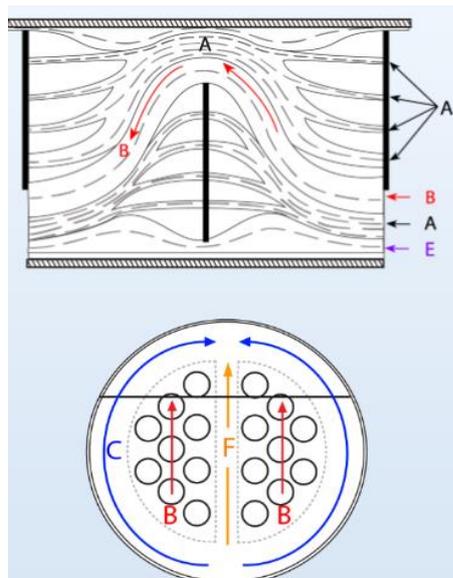


Figura 4.7.2. Representación de los corrientes presentes por carcasa según el modelo de flujo del método Tinker.

Tabla 4.7.5. Resultados del análisis de flujo de *Aspen Exchanger Design & Rating*.

Fracción de flujo por carcasa	Entrada	Medio	Salida
Flujo cruzado (corriente B)	0.84	0.72	0.84
Ventana (corriente B+C+F)	0.9	0.77	0.9
Agujero <i>baffle</i> – tubo OD (corriente A)	0.01	0.04	0.01
<i>Baffle</i> OD – carcasa ID (Corriente E)	0.09	0.2	0.09
Carcasa ID – haz de tubos (corriente C)	0.05	0.05	0.05
Corriente de paso (Corriente F)	0	0	0

4.7.3. Diseño mecánico

Para realizar el diseño mecánico del nuevo equipo 07W02.2 que se instalará a continuación del condensador 07W02, se ha diseñado el equipo conforme al código AD-Merkblatter basado en la normativa de *Deutsches Institut Fur Normung* (DIN).

Con este código se procede a determinar los espesores que deben tener las diferentes partes que constituyen el condensador, la carcasa, los cabezales, los tubos y la placa tubular.

- **Espesor de la carcasa**

Para determinar el espesor de la carcasa se realiza a partir de la ecuación 4.7.1, en la que se tiene en cuenta un factor de seguridad, sobreespesores por corrosión y para compensar las tolerancias como también el coeficiente de junta que aplica en este caso. El material de la carcasa seleccionado es el acero al carbono DIN17155.

$$s = \frac{D_a \cdot p}{20 \frac{K}{S} \cdot v + p} + C_1 + C_2 \quad (4.7.1)$$

Tabla 4.7.6. Factor de seguridad en función del límite elástico, la tensión de prueba o la resistencia a la rotura. (ref. 8)

Material and equipment	Safety factor S for the material at design temperature	Safety factor S' for the test pressure
1. Rolled and forged steel	1,5	1,05
2. Cast steel	2,0	1,4
3. Cast iron with spheroidal graphite to DIN 1693		
3.1 GGG-70		
GGG-60	5,0	2,5
3.2 GGG-50	4,0	2,0
3.3 GGG-40	3,5	1,7
3.4 GGG-40.3		
GGG-35.3	2,4	1,2
4. Aluminium and its alloys – malleable materials	1,5	1,05

(GGG = nodular graphite iron)

De la Tabla 4.7.6. se selecciona el factor de seguridad que se debe aplicar en la ecuación correspondiente para obtener el espesor requerido, en este caso equivale a la primera opción en que el acero es forjado y laminado, por consiguiente, el valor del factor S a la temperatura de diseño es de 1,5.

En la Tabla 4.7.7. se presentan los valores de los diferentes parámetros de diseño necesarios para completar el cálculo del espesor de la carcasa del equipo.

Tabla 4.7.7. Valores de los parámetros de diseño.

Presión de diseño de la carcasa p (bar a)	Temperatura de diseño de la carcasa (°C)	Factor de resistencia del material K (N/mm ²)	Coefficiente de junta v
10	250	185	0.85

Tabla 4.7.8. Sobreespesores aplicados.

Sobreespesor por corrosión C_1 (mm)	Sobreespesor por dilataciones C_2 (mm)
1	1

El espesor obtenido de la pared de la carcasa con las consideraciones comentadas es de 5,46 mm, con este valor la pared cilíndrica del equipo 07W02.2 tiene la capacidad y la resistencia de soportar en las condiciones de operación.

El espesor que se selecciona para la pared del condensador debe estar disponible comercialmente, por consiguiente, se selecciona un espesor comercial de 8 mm que es superior al espesor requerido, de esta forma no supondrá ningún inconveniente y cumple con los requerimientos técnicos y de seguridad.

- **Espesor de los cabezales**

Los cabezales del condensado tanto del fondo como de la cabeza de este son del tipo semi-elipsoidal tal como se muestra en la Figura 4.7.3., por tanto, para definir los espesores de los cabezales, el código AD-Merkblätter determina las ecuaciones 4.7.2 - 4.7.6. El material de los cabezales seleccionado es el mismo que de la carcasa, el acero al carbono DIN17155.

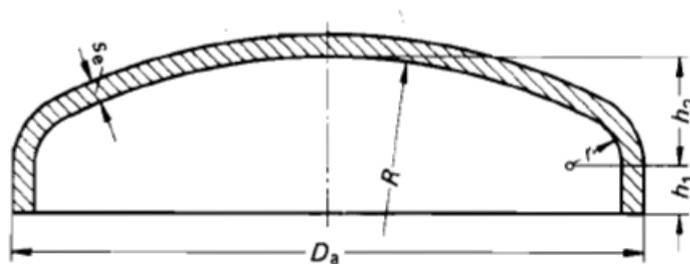


Figura 4.7.3. Cabezal del condensador 07W02.2

$$s = \frac{D_a \cdot p \cdot \beta}{40 \frac{K}{S} \cdot v} + C_1 + C_2 \quad (4.7.2)$$

$$R = 0.8 \cdot D_a \quad (4.7.3)$$

$$r = 0.154 \cdot D_a \quad (4.7.4)$$

$$h_2 = 0.255 \cdot D_a - 0.635 \cdot s_e \quad (4.7.5)$$

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_a} \leq 0.1 \tag{4.7.6}$$

Los cabezales del condensador son semi-elípticos, por consiguiente, deben cumplir con las igualdades 4.7.3 – 4.7.5 y el espesor se determina mediante la ecuación 4.7.2, para determinar el valor de β de la ecuación, se calcula la desigualdad 4.7.6 y mediante la Figura 4.7.3. se selecciona el valor en función de la relación $\frac{d_i}{D_a}$ (diámetro interior del tubo y diámetro exterior de la carcasa respectivamente).

En este caso los valores de los parámetros de diseño; presión de diseño, temperatura de diseño, factor de resistencia del material y el coeficiente de junta coinciden con los valores de la pared cilíndrica del condensador de la Tabla 4.7.7.

Por otra parte, el sobreespesor para compensar las tolerancias y la disminución de espesor de la chapa en la fabricación y el sobreespesor por corrosión también coinciden con los valores de la Tabla 4.7.8.

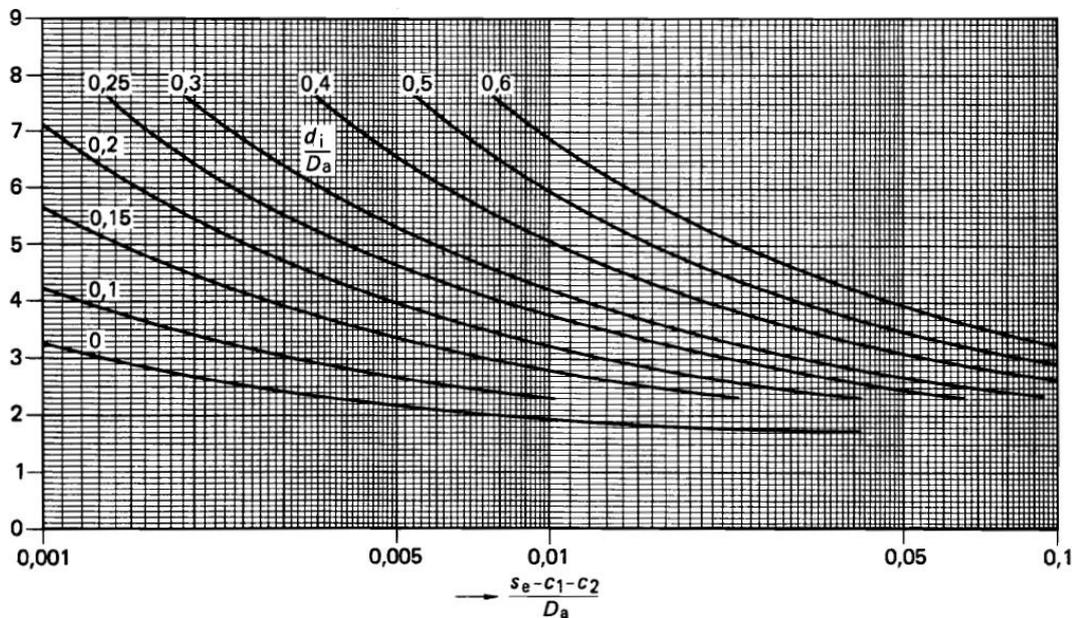


Figura 4.7.4. Factor de diseño β para cabezales abovedados

Tabla 4.7.9. Parámetros de diseño de los cabezales.

$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_a}$	$\frac{d_i}{D_a}$	Factor de diseño β
0.008	0.02	2.3

Finalmente, mediante los valores de los diferentes parámetros de diseño y en las condiciones de operación y diseño a las que está sometido el equipo, los cabezales requieren un espesor de 6 mm, este espesor obtenido cumple con la capacidad de seguridad y del buen funcionamiento del equipo, no obstante, el espesor seleccionado será el disponible a nivel comercial, por

consiguiente, el valor del espesor coincide con el espesor de la carcasa del condensador y es de 8 milímetros.

- **Espesor de los tubos**

A continuación, se determina el espesor de los tubos que contiene el condensador. Para ello se utilizan las ecuaciones 4.7.7 y 4.7.8, pero previamente se determinan los parámetros de las ecuaciones 4.7.9 y 4.7.10 que son valores necesarios para completar el cálculo. El material seleccionado para los tubos en este caso es el acero al carbono DIN17177.

En la ecuación 4.7.9 se obtiene el valor del coeficiente de debilitamiento v , que se calcula a partir del valor del *pitch* entre tubos y del diámetro exterior del tubo con un factor de corrección como indica la fórmula 4.7.10.

Las dos ecuaciones 4.7.7 y 4.7.8 son para determinar el espesor de los tubos, de los resultados obtenidos de las respectivas ecuaciones se selecciona el valor con mayor magnitud de éstas.

$$s = C_5 \cdot D_1 \cdot \sqrt{\frac{p_i \cdot S}{10 K \cdot v}} + C_1 + C_2 \quad (4.7.7)$$

$$s = C_5 \cdot D_1 \cdot \sqrt{\frac{p_u \cdot S}{10 K \cdot v}} + C_1 + C_2 \quad (4.7.8)$$

$$v = \frac{t - d_a^*}{t} \quad (4.7.9)$$

$$d_a^* = \max \left\{ \left\langle d_a - 2 \cdot s_t \cdot \left(\frac{E_t}{E} \right) \cdot \left(\frac{K_t}{K} \right) \cdot \left(\frac{l_w^*}{s} \right) \right\rangle; \frac{d_a}{1.2} \right\} \quad (4.7.10)$$

Tabla 4.7.10. Valores de los parámetros de diseño

Presión de diseño de la carcasa (bar a)	Temperatura de diseño de la carcasa (°C)	Factor de resistencia del material K (N/mm ²)
3	250	205

Tabla 4.7.11. Sobreespesores aplicados

Sobreespesor por corrosión C_1 (mm)	Sobreespesor por dilataciones C_2 (mm)
0.5	0.5

Tabla 4.7.12. Parámetros calculados de diseño

d_a (mm)	d_a^*	v
19.10	15.93	0.37

Una vez determinados los diferentes valores de los parámetros de diseño que se muestran en la Tabla 4.7.10, se procede a determinar el espesor de los tubos.

En este caso el espesor con mayor magnitud equivale al valor obtenido con la ecuación 4.2.8 en la cual la presión de diseño que se considera es la del exterior de los tubos. Para el buen funcionamiento y la eficiencia del equipo los tubos deben tener un espesor de 1.98 mm.

- **Espesor de la placa tubular**

Por último, se determina el espesor de la placa tubular del condensador, en este caso se procede a calcular el grosor con la ecuación 4.7.11, en la que se tiene en cuenta diferentes parámetros de diseño, el *pitch* entre los agujeros de la placa, los sobreespesores por corrosión y por tolerancias, el coeficiente de seguridad, el coeficiente de junta. El material de la placa tubular coincide con el material seleccionado para la carcasa y los cabezales del equipo, el acero al carbono DIN17155.

$$s = C \cdot \sqrt{\frac{D_1^2 - n \cdot d_i^2}{v} \cdot \frac{p_i \cdot S}{10 K}} + c_1 + c_2 \quad (4.7.11)$$

Para determinar el espesor de la placa tubular se ha realizado un análisis en el simulador *Aspen* para detectar si los tubos están sujetos a cargas de pandeo mayor a la carga permisible, se ha comprobado que efectivamente las cargas de pandeo que sufren los tubos son mayores, por consiguiente, se debe aplicar la formula ya mencionada 4.7.11.

Tabla 4.7.13. Valores de los parámetros de diseño

Presión de diseño de la carcasa p_i	Temperatura de diseño de la carcasa	Factor de resistencia del material K	Factor de diseño C
(bar a)	(°C)	(N/mm ²)	
3	250	185	0.35

El factor de diseño C presentado en la Tabla 4.7.13. se selecciona de una serie de tablas del código AD-Merkblatt en función de los cabezales y el coeficiente de junta del material.

En este caso, el resto de los valores de diseño como el factor de junta v y el valor de d_a^* equivalen a los valores presentados en la sección de espesor de tubos en la Tabla 4.7.10.

Tabla 4.7.11. Sobreespesores aplicados

Sobreespesor por corrosión C_1 (mm)	Sobreespesor por dilataciones C_2 (mm)
1	1

Finalmente, tras determinar los diferentes parámetros de diseño y las condiciones que se debe cumplir se obtiene un espesor de la placa tubular 20.22 mm, en este caso se selecciona un espesor comercial de 21 mm.

4.7.4. Aislamiento térmico

El equipo necesitará la adición de un aislante térmico para temperaturas bajas para no perder eficiencia en la transferencia de calor por el contacto entre la carcasa, por la cual circula el refrigerante a 5°C y la temperatura atmosférica, que en Tarragona está alrededor de 14 a 31°C. (Ver apartado 3.2.3.2 para ampliar información meteorológica).

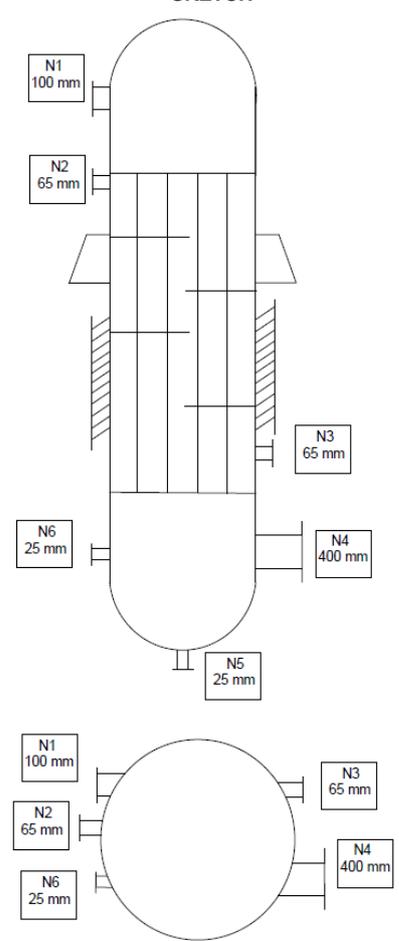
Por el contrario, en el cabezal superior de entrada circula MCB a 72°C y deberá aislarse por seguridad al estar por encima de 60°C.

Se ha seleccionado de los estándares de la compañía la espuma rígida de poliuretano (designación del material según AGI Q 133-3: 23.08.10.08.50) con un peso de $\geq 45 \text{ kg/m}^3$ que presenta un rango de operación entre -50 a 100°C, al operar en este intervalo cubre el aislamiento térmico y el de bajas temperaturas. El grosor económico del aislante viene dado por WN 8102¹ y WN 8101-7².

¹ Low-temperature insulation with spray-in-place foam; Insulating thicknesses for Baytherm (PU rigid foam), apparatus, vessels, ducts and pipes.

² Heat insulation; Economic insulating thicknesses for polyurethane foam insulants (PU) on operating plants.

4.7.5. Ficha de especificaciones del condensador 07W02.2

1	ITEM No.: 07W02.2						
2	Service: Condensación de MCB, PHI y MDI						
3	Type: BEM	Position: Vertical	Total surface / unit	130.2 (m ²)			
4	No. Shell:	1					
5	PERFORMANCE OF UNIT						
6		Shell side		Tube side			
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		
8	Fluid name	MCB		MCB; PHI; MDI			
9	Fluid total flow	25000		322			
10	Vapour	0	0	322	0		
11	Liquid	25000	25000	0	322		
12	Steam						
13	Water						
14	Temperature	5	9.64	72	9.99		
15	Density (V/L)	/1124.44	/1119.69	0.03 / 1133.3	/1117.91		
16	Viscosity (V/L)	/0.96	/0.91	0.0086 / 0.039	/0.92		
17	Vapour molecular weight			113.02			
18	Specific heat (V/L)	/1.18	/1.19	0.99 / 1.36	/1.19		
19	Thermal conductivity (V/L)	/0.13	/0.13	0.012 / 0.10	/0.13		
20	Latent heat			370.3	367.7		
21	Inlet pressure	2		0.007			
22	Velocity (Mean/Max)	0.06/0.07		12.89/25.78			
23	Pressure drop (allowable / calculated)	0.4	0.023	0.0007	0.00065		
24	Fouling resistance (min)			0.0002	0.0002		
25	Heat exchanged:	38.1					
26	Heat transfer rate (W/m2.K)	Fouled: 70.8		Clean: 73.2			
27	CONSTRUCTION PER SHELL				SKETCH 		
28	Codes:	AD-Merkblätter	Shell side	Tube side			
29	Design pressure	bar	10	3			
30	Design temperature	°C	250	250			
31	No. of passes		1	1			
32	Stress relief						
33	Radiograph.		0.85	0.85			
34	Corrosion allowance	mm	1	0.5			
35	Nozzles	Service	Mark	Dia. (mm)			
36		Entrada de MCB; PHI; MDI	N1	100			
37		Salida de MCB	N2	65			
38		Entrada de MCB	N3	65			
39		Salida de vapor	N4	400			
40		Salida de condensado	N5	25			
41		Indicador de nivel	N6	25			
42							
43							
44							
45	MATERIALS						
46		Dia. (mm)	Thick. (mm.)	Spec. Mat.			
47	Shell:	700	8	Carbon Steel DIN17155			
48	Channel:						
49	Tube sheets:						
50	Baffles: nº / mat.		4	Carbon Steel DIN17155			
51	Baffles spacing:	530		mm			
52	Thickness:	21		mm			
53	Tubes:	Carbon Steel DIN 17177					
54	Nº	707					
55	OD	19.05		mm			
56	Thickness:	2		mm			
57	Length	3150		mm			
58	Pitch:	23.81		30-Triangular △			
59							
60							
61							
62							
63	NOTES:						
64	(1) Aislamiento: espuma rígida PU (Polyurethane) para bajas temperaturas.						
65	Designación del material en AGI Q 133-3: 23.08.10.08.50						
66							
67							
REV.	25/05/2021	DATE	PREP.	APPR.			



4.8. Diseño de tuberías

Se han dimensionado las tuberías correspondientes al nuevo condensador. El material usado ha sido el acero al carbono. Se han utilizado dos tipos de tuberías, una para el refrigerante (el MCB) y otra para el producto, se ha hecho así porque las características de los productos para las dos tuberías son distintas y este tipo de tubería es la correcta para el uso de estos caudales. (ref. 2)

4.8.1. Dimensionamiento

Inicialmente para dimensionar las tuberías, se cogen los caudales calculados con el *Aspen* del MCB y del MDI. Teniendo los caudales, se supone una velocidad de 0.2 m/s del MDI en la salida del condensador por caída libre, para el venteo y la entrada del MDI se ha supuesto una velocidad del gas de 20 m/s i 2 m/s para el líquido, MCB.

Una vez se tienen los datos necesarios, se utiliza la ecuación 4.8.1 para calcular el área de paso del fluido.

$$Qt = A \cdot v \quad (4.8.1)$$

Tabla 4.8.1. Caudales, velocidades y áreas calculadas.

Corriente	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)
MCB	6.26·10e-3	2	3.13·10e-3
MDI (entrada)	7.58·10e-5	20	3.79·10e-6
MDI (salida)	7.58·10e-5	0.2	3.79·10e-4
Venteo	3.53·10e-3	20	1.77·10e-4

Una vez se obtiene el área de paso, se calcula el radio de la tubería y consecuentemente el diámetro. A continuación, se muestra la ecuación 4.8.2.

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (4.8.2)$$

Seguidamente, calculado el radio, se puede obtener el diámetro de la tubería. Se nos han facilitado unas tablas por parte de la empresa que nos permite poder coger el diámetro real de la tubería, el diámetro exterior y el espesor de la pared.

Tabla 4.8.2. Diámetros y espesores de las corrientes en las tuberías.

Corriente	Diámetro calculado (mm)	Diámetro real (mm)	Diámetro exterior (mm)	Espesor pared (mm)
MCB	63.11	65	76.1	2.9
MDI (entrada)	2.19	15	21.3	2
MDI (salida)	21.96	25	33.7	2.6
Venteo	-	400	21.3	2

Una vez se han obtenido los diámetros reales de la tubería, se procede a calcular las velocidades reales mediante las ecuaciones 4.8.1 y 4.8.2.

A continuación, en la tabla 4.8.3 se muestran las velocidades reales de los fluidos para las tuberías del proceso.

Tabla 4.8.3. Velocidades reales de las corrientes en las tuberías.

Corriente	Velocidad real (m/s)
MCB	1.88
MDI (entrada)	0.43
MDI (salida)	0.15
Venteo	20

4.8.2. Pérdida de carga

La pérdida de carga en una tubería permite saber la diferencia de presión entre el punto inicial i el punto final por donde sale el fluido, sabiendo esto, nos permite establecer una presión inicial porque al final llegue a la presión deseada.

Inicialmente, se ha calculado el número de Reynolds, con la ecuación 4.8.3, para saber el régimen en el que se mueve el fluido.

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} \quad (4.8.3)$$

Una vez obtenido el valor del Reynolds, se puede comprobar que es de régimen laminar, sabiendo esto, a continuación, a la ecuación 4.8.4 se muestra el factor de fricción necesario.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \cdot \log \cdot \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon \cdot r}{3.7} \right)^{1.11} \right) \quad (4.8.4)$$

Seguidamente, una vez obtenido el factor de fricción, se procede a calcular la pérdida de carga, en este caso se ha tenido en cuenta la pérdida de carga mayor y la menor, en las ecuaciones 4.8.5, 4.8.6 y 4.8.7 se muestran las ecuaciones utilizadas

$$Hf_{total} = Hf_{majors} + Hf_{menors} \quad (4.8.5)$$

$$Hf_{majors} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.8.6)$$

$$Hf_{menors} = K_{colze} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.8.7)$$

Tabla 4.8.4. Datos y resultados de las pérdidas de carga del MCB.

Datos	Valor
$\rho_{\text{líquid}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1110
Diámetro exterior (mm)	76.1
Velocidad (m/s)	1.88
Viscosidad (Pa·s)	$2.08 \cdot 10^{-4}$
Reynolds	$2.08 \cdot 10^5$
Longitud (m)	1
Espesor (mm)	2.9
Factor de fricción	0.11
Pérdida de carga total (bar)	$2.94 \cdot 10^{-2}$

Tabla 4.8.5. Datos y resultados de las pérdidas de carga del MDI en la entrada.

Datos	Valor
$\rho_{\text{líquid}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1180
Diámetro exterior (mm)	21.3
Velocidad (m/s)	0.43
Viscosidad (Pa·s)	$8.6 \cdot 10^{-6}$
Reynolds	$8.83 \cdot 10^5$
Longitud (m)	5
Espesor (mm)	2
Factor de fricción	0.05
Pérdida de carga menor (bar)	$6.90 \cdot 10^{-4}$
Pérdida de carga mayor (bar)	$1.53 \cdot 10^{-2}$
Pérdida de carga total (bar)	$1.67 \cdot 10^{-2}$

Tabla 4.8.6. Datos y resultados de las pérdidas de carga del MDI en la salida.

Datos	Valor
$\rho_{\text{líquid}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1180
Diámetro exterior (mm)	33.7
Velocidad (m/s)	0.15
Viscosidad (Pa·s)	$8.6 \cdot 10^{-6}$
Reynolds	$5.30 \cdot 10^5$
Longitud (m)	5
Espesor (mm)	2.6
Factor de fricción	0.073
Pérdida de carga total (bar)	$1.74 \cdot 10^{-3}$

Tabla 4.8.7. Datos y resultados de las pérdidas de carga del venteo.

Datos	Valor
Diámetro exterior (mm)	406.4
Velocidad (m/s)	$6.03 \cdot 10^{-4}$
Viscosidad (Pa·s)	$8.6 \cdot 10^{-6}$
Reynolds	$3.31 \cdot 10^4$
Longitud (m)	1
Espesor (mm)	6.3
Factor de fricción	1.18
Pérdida de carga total (bar)	$2.95 \cdot 10^{-8}$

Tabla 4.8.8. Datos y resultados de las pérdidas de carga del MCB en la recirculación.

Datos	Valor
$\rho_{\text{líquid}}$ (kg/m ³)	1110
Diámetro exterior (mm)	76.1
Velocidad (m/s)	1.88
Viscosidad (Pa·s)	$2.08 \cdot 10^{-4}$
Reynolds	$2.08 \cdot 10^5$
Longitud (m)	6
Espesor (mm)	2.9
Factor de fricción	0.11
Pérdida de carga menor (bar)	$5.33 \cdot 10^{-2}$
Pérdida de carga mayor (bar)	$1.77 \cdot 10^{-1}$
Pérdida de carga total (bar)	$2.30 \cdot 10^{-1}$

4.8.3. Aislamiento térmico

El aislamiento térmico es una parte importante para cualquier planta de proceso. Se instala de modo que el tubo de acero al carbono entre en contacto con éste y no queden cámaras de aire, evitando el paso de agua que puede provocar corrosión. Las funciones del aislamiento son las siguientes:

- Disminución del gasto energético (calentamiento y enfriamiento).
- Disminución del impacto ambiental: menores emisiones de CO₂.
- Control de las temperaturas superficiales (protección del personal y equipos).
- Mejora de la eficiencia económica en instalaciones industriales.
- Protección contra incendios y explosiones.
- Prevención de la corrosión.

Una vez explicado por qué se decide poner aislamiento térmico se procede a decidir en qué tubería se aplicará.

Para aplicar el aislamiento térmico es necesario que la temperatura del caudal sea superior a 60°C, por lo tanto, se aplicará para la tubería de entrada del MDI del nuevo condensador ya que la entrada se encuentra a 72°C.

Para realizarlo, se han facilitado unas tablas por parte de la empresa para que sea más sencillo.

A continuación, en la tabla 4.8.9 se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 4.8.9. Grosor total del MDI en la entrada del condensador.

Corriente	Diámetro nominal (mm)	Diámetro exterior (mm)	Temperaturas entre 50-100°C	Grosor aislante (mm)
MDI	15	21.3	72	30

Una vez calculado el aislamiento térmico del corriente de entrada del condensador del MDI se procede a calcular de nuevo los cálculos teniendo en cuenta que el condensador actual es de 400 mm, será necesario poner una tubería más grande y por otro lado añadir un reductor para adaptar las dos tuberías, la de 400 y 100 mm.

Tabla 4.8.10. Datos y resultados del recalcu las pérdidas de carga del MDI en la entrada.

Datos	Valor
ρ_{liquid} (kg/m ³)	1180
Diámetro exterior (mm)	114.3
Velocidad (m/s)	0.01
Viscosidad (Pa·s)	$8.6 \cdot 10^{-6}$
Reynolds	$1.32 \cdot 10^5$
Longitud (m)	5
Espesor (mm)	3.6
Factor de fricción	0.16
Pérdida de carga menor (bar)	$1.42 \cdot 10^{-5}$
Pérdida de carga mayor (bar)	$3.77 \cdot 10^{-5}$
Pérdida de carga total (bar)	$5.10 \cdot 10^{-6}$



4.8.4. Listado de líneas

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los apartados anteriores con la intención que sea más sencillo entender los cálculos realizados anteriormente.

Tabla 4.8.11. Resumen de las líneas.

Tubería	Nombre línea	Caudal (m ³ /s)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)
MCB (salida)	8194-502-65-10BD	$6.23 \cdot 10^{-3}$	65	76.1	2.9
MCB (entrada)	8194-503-65-10BD	$6.23 \cdot 10^{-3}$	65	76.1	2.9
MDI (entrada)	8101-501-100-10BD	$7.58 \cdot 10^{-3}$	100	114.3	3.6
MDI (salida)	8101-505-25-10HL	$7.58 \cdot 10^{-3}$	25	33.7	2.6
Venteo	8101-506-400-10BD	$7.58 \cdot 10^{-3}$	400	406.4	6.3
MCB (barrido)	8101-507-25-10BD	-	25	33.7	2.6
MCB (recirculación)	8194-504-65-10BD	$6.23 \cdot 10^{-3}$	65	76.1	2.9



Tabla 4.8.12. Condiciones de las líneas.

Tubería	Tolerancia corrosión (mm)	CONDICIONES DE TRABAJO		CONDICIONES DE DISEÑO		CONDICIONES DE PRUEBA			
		Presión (bar)	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Prueba presión		Prueba de estanqueidad	
						Fluido	Presión (bar)	Fluido	Presión (bar)
MCB (salida)	1	1.97	10	7	-60	Agua	15	Aire	0.3
MCB (entrada)	1	2	5	7	-60	Agua	15	Aire	0.3
MCB (barrido)	1	2	5	7	-60	Agua	15	Aire	0.3
MCB (recirculación)	1	2	5	7	-60	Agua	15	Aire	0.3
MDI (entrada)	1	$7 \cdot 10^{-3}$	72	10	80	Agua	15	Aire	0.3
MDI (salida)	1	$6.3 \cdot 10^{-3}$	5	10	80	Agua	15	Aire	0.3
Venteo	1	$6.3 \cdot 10^{-3}$	5	10	80	Agua	15	Aire	0.3

4.9. Diseño de instrumentación y control

El sistema de control e instrumentación diseñado para el nuevo condensador 07W02.2 se compone de las válvulas y elementos presentados en la Tabla 4.9.1 y la Tabla 4.9.2, de tal forma que se indica y especifica los diferentes aspectos que componen el estado y la condición de operación de cada elemento.



4.9.1. Listado de instrumentación

Tabla 4.9.1. Listado de válvulas.

	TAG	Función	P&ID	Descripción	Producto	Estado	Especificación de la línea	Señal	Fabricante ¹	Modelo ¹
1	VM-101	-	101	Válvula manual	MCB	L	8194-502-65-10BD	-	-	-
2	VM-102	Purga	101	Válvula manual	MCB	L	8194-502-65-10BD	-	-	-
3	VM-103	-	101	Válvula manual	MCB; PHI; MDI	G	8101-501-100-10BD	-	-	-
4	VM-104	Purga	101	Válvula manual	MCB	L	8194-503-65-10BD	-	-	-
5	VM-105	-	101	Válvula manual	MCB	L	8194-503-65-10BD	-	-	-
6	VM-106	-	101	Válvula manual	MCB; PHI; MDI	G	8101-506-400-10BD	-	-	-
7	VM-107	-	101	Válvula manual	MCB; PHI; MDI	L	8547-505-25-10HL	-	-	-
8	VM-108	-	101	Válvula manual	MCB	L	8101-507-25-10BD	-	-	-
9	VM-109	Purga	101	Válvula manual	MCB	L	8101-507-25-10BD	-	-	-
10	VM-110	-	101	Válvula manual	MCB	L	8101-507-25-10BD	-	-	-
11	VC-101	Control de caudal	101	Válvula de control	MCB	L	8194-502-65-10BD	AO	-	-
12	Y7.10	10 barg	101	Válvula de seguridad de sobrepresión	MCB	L	8194-504-80-10BD	-	-	-

¹ A cargo de la empresa



Tabla 4.9.2. Listado de instrumentación.

	TAG	Función	P&ID	Descripción	Producto	Estado	Especificación de la línea	Señal	Fabricante ¹	Modelo ¹
1	B07T80	TICA+	101	Indicador de temperatura con alarma de nivel alto	MCB	L	8194-502-65-10BD	AI	-	-
2	B07L81	LIA+	101	Indicador de nivel con alarma de nivel alto	MCB; PHI; MDI	L	07W02.2	AI	-	-
3	B07P82	PIRA+	101	Indicador y registro de presión con alarma de nivel alto	MCB	G	8101-506-400-10BD	AI	-	-
4	B07T83	TI	101	Indicador de temperatura	MCB; PHI; MDI	L	8547-505-25-10HL	AI	-	-
5	M-101	-	101	Mirilla	MCB	L	8194-504-65-10BD	-	-	-
6	DE46	-	101	Compensador	MCB; PHI; MDI	G	8101-501-100-10BD	-	-	-
7	DE47	-	101	Compensador	MCB; PHI; MDI	L	8547-505-25-10HL	-	-	-

¹ A cargo de la empresa

4.9.2. Diseño de la válvula de control VC-101

Para el diseño y selección del modelo de válvula de control, es necesario definir el valor del coeficiente de caudal en unidades métricas (K_v) o en unidades imperiales (C_v), la pérdida de presión y el caudal. La conversión de unidades de K_v a C_v viene dada por la ecuación 4.9.2.

El cálculo del valor de K_v se realiza de acuerdo con la norma DIN EN 60 534 y varía según el grado de apertura y un valor de carrera concreto. Para fluidos en estado líquido se calcula mediante la ecuación 4.9.2. (ref. 4)

Se predetermina una pérdida de carga de 250 mbar para favorecer una regulación más precisa (a mayor pérdida de carga, mejor control de la válvula).

Tabla 4.9.1. Datos de proceso para la válvula VC-101 de la corriente 8194-502-65-10BD en posición normal de apertura.

Estado	Líquido
Fluido	MCB
Q_v (m^3/h)	22.33
ρ (kg/m^3)	1119.69
$P_{entrada}$ (bar)	1.97
P_{salida} (bar)	1.72

$$C_v = 1.165 \cdot K_v \quad (4.9.1)$$

$$K_v = Q_v \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar} \cdot \rho}{\Delta P \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}} \quad (4.9.2)$$

Tabla 4.9.2. Valores del coeficiente de caudal para carrera nominal del 100% (H_{100}).

K_{vs} (m^3/h)	155.79
C_v (gpm)	181.49

Posteriormente, se ha seleccionado de catálogo de la empresa SAMSON S.A la válvula de control SAMSON Serie 240 de tipo 3241. Estas se fabrican de paso recto, tienen unos pasos nominales DN de 15 a 300 y hasta una presión nominal PN 10 a 40 (Class 125 a 300) y tienen un rango de temperatura desde -10 a +220°C. (ref. 5) De estas, se ha buscado la ficha técnica para válvula DIN T 8015 (ref. 15).

Con la información recogida se realiza la hoja de especificaciones de la válvula de control VC-101 (apartado 4.9.2.2) para que un especialista pueda seleccionar y dimensionar la válvula necesaria.

4.9.2.2 Hoja de especificaciones para válvula de control VC-101

		Hoja de datos para válvula de control según DIN EN 60534-7				
		X · Datos mínimos necesarios para la selección y especificación				
1	Datos de proceso	Ubicación				
2		Servicio				
7 x		Control del caudal de salida de refrigerante				
8		Tubería	Diam.	65 mm	Presión	1.98 barg NPS 3/4 Class
12 x		Material de la tubería Acero al carbono 10BD				
13 x		Fluido Monoclorobenceno				
		Estado de la entrada				
		Líquido				
15				mín	normal	máx Unidad
16 x		Caudal		0	25000	50000 kg/h
17 x		Presión de entrada		1.73	1.98	2.23 barg
18 x		Presión de salida		-	1.73	1.98 barg
19 x		Temperatura		-	9.64	9.64 °C
20 x	Densidad de entrada		1119.69	1119.69	1119.69 kg/m ³	
21 x	Presión de vapor		-	-	-	
22 x	Presión crítica		45.19	45.19	46.19 bar	
23 x	Viscosidad		0.91	0.91	0.91 mPa·s	
31		Coef. de caudal máximo Kv (Cv) calculado 94.50 m ³ /h				
32		Coef. de caudal mínimo Kv (Cv) calculado 0				
33		Coef. de caudal Kvs o Cv seleccionado				
34		Nivel de ruido calculado dB(A)				
35	Cuerpo de la válvula	Válvula de control Tipo ... Serie 240 · Válvula de paso recto · Tipo 3241				
36		Construcción				
38		Presión nominal	PN	10 a 40	Class	150 a 300
39		Paso nominal	DN	15 a 150	NPS	1/2 a 12
40		Tipo de conexiones Bridas, extremos para soldar según EN 12627 DIN/ANSI DIN				
43		Parte superior Normal				
45		Material del cuerpo/parte superior Acero al carbono 1.0619				
47		Característica Lineal				
48		Material del obturador/vástago				
49		Material de casquillos/asiento				
52		Endurecimiento	ninguno		parc.estillitado	Stellite endurecido
54		Clase de fuga		% Kvs		clase
55	Material empaquetadura		estándar		forma	
57	Accionamiento	Tipo de accionamiento neumático- Tipo 3277				
60		Superficie de accionamiento cm ²				
62		Presión de alimentación	mín	1.4	máx	6 bar
63		Margen de señal nominal				
64		Posición de seguridad abierto				
66		Otro tipo de accionamiento				
67		Posición de seguridad válvula de 3-vías				
68	Volante manual adicional	no		sí		
70	Posicionador	Posicionador tipo				
71		Señal de entrada	neumático		eléctrico	
72		Válvula "abierta" con		bar		mA
73		Válvula "cerrada" con		bar		mA
76	Presión de aire máx.					
78	Protección Ex		Ex i		Ex d	
80	Final de carrera	Final de carrera tipo				
81		Final de carrera eléctrico neumático				
82		Posición de conmutación		cerrada	% de carrera	abierta
83		Función de conmutación		cierra		abre
84		Protección Ex		Ex i		Ex d

4.9.3. Diseño de la válvula de seguridad PSV Y7.10

Para el diseño y selección del modelo de válvula de seguridad, es necesario definir los valores del caudal, las diferencias de presión de la entrada y la salida, y la gravedad específica del compuesto (en este caso el MCB). A continuación, en la tabla 4.9.3 se muestran los valores necesarios para el cálculo de la Cv.

Tabla 4.9.3. Datos de proceso para la válvula PSV.

Estado	Líquido
Fluido	MCB
Q _v (gal/min)	110.07
P _{entrada} (psi)	29
P _{salida} (psi)	28.26
GF	1.11

El cálculo realizado, consistirá en calcular la Cv mediante los valores definidos anteriormente, para poder saber que diámetro nominal es necesario para dicha válvula de seguridad. A continuación, en la ecuación 4.9.3 se muestra la ecuación utilizada para el cálculo de la Cv y en la tabla 4.9.4 se muestran el resultado y el diámetro nominal que será necesario teniendo en cuenta la posibilidad de abrir la válvula al 100%.

$$Cv = \frac{Q}{\sqrt{\frac{P_1 - P_2}{GF}}} \quad (4.9.3)$$

Tabla 4.9.4. Valores del Cv.

Cv (m ³ /h)	134.80
DN (mm)	80

Este diámetro nominal ha sido el escogido debido a que al 100% de obertura el valor dado por tabla de especificaciones (ref. 17) era de 136, por lo tanto, como nuestro cálculo da 134,80 se coge el siguiente valor más grande, en este caso el 136 que viene definido por un diámetro nominal de 80 mm.

4.9.3.1 Hoja de especificaciones para válvula de seguridad PSV

PROYECTO	ESPECIFICACIÓN	N°	
		HOJA N°	1 de 1
EMPRESA	COVESTRO	FECHA	28/05/2021
FÁBRICA	Válvula de Seguridad	PREPARADO	28/05/2021
PLANTA		REVISADO	30/05/2021
		APROBADO	
	COVESTRO		
ITEM			
REFERENCIA P&ID			VC-101
SERVICIO			MCB
EQUIPO PROTEGIDO			07W02.2
PRESION DISEÑO EQUIPO PROTEGIDO	bar		10.00
ESCENARIO PARA DIMENSIONADO			
FASE			Líquido
PRESIÓN DISPARO	bar		10.00
PRESIÓN DISPARO + SOBREPRESIÓN	bar		10.00
TEMP. DE DISPARO + SOBREPRESIÓN	°C		-
CONTRAPRESIÓN DEL SISTEMA	kg/cm2g		10.00
CONTRAPRESIÓN MÁXIMA	%		
PRESIÓN DE ENTRADA	bar		2.00
TEMPERATURA ENTRADA	°C		5.00
Fase GAS			
CAUDAL	kg/h		-
DENSIDAD	kg/m3		-
VISCOSIDAD	cP		-
PESO MOLECULAR			-
RELACIÓN CP/CV			-
FACTOR COMPRESIBILIDAD Z			-
Fase LÍQUIDA			
CAUDAL	kg/h		25,000.00
DENSIDAD	kg/m3		1,120.00
VISCOSIDAD	cP		0.96
PRESIÓN VAPOR	kg/cm2a		0.00
VÁLVULA			
Cv			134.80
Cv REQUERIDA			136.00
TAMAÑO REQUERIDO	mm		DN 80
Notas			
CÁLCULOS PARA EL DN	$Cv = \frac{Q}{\sqrt{\frac{(P1-P2)}{SG}}}$		
AP	0.74 psi		
Gf	0.11		
Q	110.07 gal/min		
Cv	134.80		
En el momento de seleccionar el diámetro nominal de la válvula se ha tenido cuenta en la situación de que se abrirá al 100%.			

4.9.4. Selección de los compensadores

Los compensadores son elementos necesarios para soportar las tensiones generadas al dilatarse por las altas temperaturas los equipos y para ello ha sido necesario hacer el diseño y su selección mediante las tablas administradas por la empresa.

Para ello, se han seleccionado los compensadores para la tubería de la entrada del MDI, la cual, es de 100 mm y para la salida del condensador del MDI a 25mm, como a 25 mm no existía ningún compensador con dicho diámetro se ha procedido a coger el siguiente de la tabla, en este caso de 40mm.

Los compensadores utilizados han sido los de tipo HM debido a que son compensadores axiales con extremos para soldar y son los que mejor se adaptan a la instalación.

A continuación, en la tabla 4.9.5 se muestra toda la información necesaria sobre dichos compensadores.

Tabla 4.9.5. Listado de compensadores.

Compensador	DN (mm)	Carrera/travel			R (kg/mm)	Am(cm ²)	Ref	HM	
		+	-	Total				L(mm)	Peso(kg)
DE47	40	6	14	20	10	25	5124	244	0,8
		10	20	30	12	25	5124	244	0,8
		13	27	40	15	25	5124	244	0,8
DE46	100	10	20	30	14	127	5132	127	9,9
		16	34	50	9	127	5232	166	10,5
		23	47	70	14	127	5332	257	13,7

4.9.5. Caracterización de las estrategias de control

Para garantizar la correcta funcionalidad del equipo 07W02.2 se ha diseñado una estrategia de control con una configuración de control básica. Esta se expone de forma gráfica en el P&ID101, en el cual se representa el control del 07W02 ya existente junto al nuevo del 07W02.2.

El equipo consta de un sistema de válvulas manuales en todas las corrientes de entrada y salida para aislar el sistema en caso de mantenimiento o falla.

El equipo opera al vacío y para registrar la presión se coloca un injerto en la salida de gas que va al equipo 07W03 por donde se hace el vacío. A través de este se coloca el indicador de presión con alarma alta y se guardarán los registros para tener históricos, PIRA+. La medición se hace a través de un injerto para poder manipular la membrana del instrumento en contacto con el producto. Este enlace de control se coloca en la salida para que los valores registrados se puedan combinar con las lecturas del medidor de presión de la corriente de salida de gas del 07W02 ya existente, se podrá tener una medida de presión diferencial al conocer la presión en la entrada y salida del equipo, esto permitirá detectar obstrucciones.

Para evitar posibles problemas de inundación en el equipo 07W02.2 por acumulación del líquido en el cabezal de salida en caso de un mal funcionamiento u obstrucciones que podría inundar la línea de gases de salida por donde se hace el vacío, se ha configurado un indicador de nivel con alarma en el cabezal para que avise de que se ha sobrepasado el *set point*, LIA+.

En caso de cierre de las válvulas manuales VM-101 y VM-105 el fluido quedaría bloqueado en el interior del equipo y su temperatura y presión irían aumentando, por este motivo, se requiere una válvula de seguridad, la PSV Y7.10, que descargue en caso de alcanzar la presión de diseño de 10 bar. Esta se ha situado en el caudal de alimentación de MCB a 5°C y la descarga de ésta se recircularía aguas arriba de la VM-101 donde ya no hay ningún bloqueo posterior, de

forma que la PSV queda en contacto con el condensador para proteger y evitar consecuencias graves si se sobrepasa la presión de diseño.

Una de las funcionalidades más importantes del equipo es garantizar el intercambio de calor, para asegurarlo, se empleará una válvula de control, VC-101. Esta regulará el caudal de refrigerante en función de la temperatura de salida de esta, que será medida con un TICA+. Se coloca en la salida del refrigerante para minimizar la interacción debida a las fluctuaciones posibles en los caudales del fluido de proceso, así obteniendo una mayor estabilidad del sistema de control. Por seguridad, en caso de fallo del aire quedará abierta para no obstruir el paso del fluido.

La válvula de control VC-101 generalmente está en una posición determinada en función de la temperatura de salida del refrigerante, de forma que si la temperatura de salida coincide con el *set point* fijado a la B07T80 la válvula no realizará ningún cambio, en cambio en los escenarios que se puedan presentar desviaciones respecto el *set point* se deberá actuar para corregir la desviación, en el caso de que el refrigerante salga a una temperatura mayor al *set point* alerta de que posiblemente no se llega a condensar el fluido y por lo tanto se debe abrir más la válvula para que circule más refrigerante y llegue a refrigerar lo suficiente, y en el caso contrario, se deberá cerrar o reducir el paso de la válvula.

4.9.6. Descripción funcional del proyecto

Una de las etapas finales de destilación del diisocianato de difenilmetano, también conocido como MDI, consiste en la separación y recuperación del disolvente de monoclorobenceno (MCB) de la mezcla de MDI monomérico y polimérico. Esta también contiene fenilisocianato (PHI), que se forma en las reacciones de polimerización.

Para llevar a cabo la separación, se alimenta la mezcla en estado líquido al evaporador 07W01, corriente 763 del PFD-101. En este equipo, que trabaja al vacío, se suministra calor y la mayor parte de MCB y PHI se dirigen al condensador 07W02 ya que son los componentes más volátiles, mientras que el MDI se envía por fondo al equipo 07W04. Pese a esto, el caudal de vapor es suficiente para permitir el paso de MDI monomérico hacia el condensador 07W02. Ambos equipos se encuentran unidos por contacto directo sin necesidad de tuberías.

El 07W02 tiene como objetivo volver a condensar el MCB para recircularlo de nuevo al proceso y también reducir el caudal de vapor que va a las bombas de vacío. Debido a la cantidad de flujo que pasa del MDI, se emplea como refrigerante MCB a 38°C a través de los tubos en U ya que el MDI solidifica a 40°C. El caudal de condensado se recoge en la parte inferior de la carcasa del equipo y se envía al 04K02. Por el contrario, los gases que salen por cabeza, junto al MDI que ha pasado, a 72°C y 7 mbar (corriente 763) se envían al cabezal superior del 07W02.2 para tener una segunda etapa de condensación.

El 07W02.2 opera con MCB de refrigeración a 5°C alimentados por carcasa para poder tener una condensación total del fluido de proceso proveniente del 07W02 que circula a través de los tubos.

El condensado, sale por la parte inferior del equipo por la acción de la gravedad (corriente 2003) a 10°C y se junta con la corriente de líquido del 07W02. En esta, también se pone una línea de barrido de MCB para poder limpiar y vaciarla de producto, véase P&ID-101.

El 07W02.2 también dispone de la corriente 2002, la cual sirve de unión con las bombas para generar el vacío en el equipo y recoger el vapor generado en caso de fallos de funcionamiento que produzcan una condensación parcial. En ese caso, se enviaría este gas al 07W03 que actuará como trampa para acabar de recuperar MCB.

Dadas las temperaturas de operación del equipo 07W02.2, este puede sufrir dilataciones, por estos motivos se colocan dos compensadores, DE46 y DE47, en las tuberías verticales para minimizar las tensiones generadas y no se fracturen.

4.9.7. Descripción de la instalación

La realización de un nuevo condensador ha generado un pequeño estudio de donde sería mejor ubicarlo sabiendo que tampoco hay un espacio tan grande como para decidir entre muchas opciones, el nuevo condensador ha sido situado al lado del actual (el 07W02) pero a una altura más elevada. Esto se debe principalmente para optimizar al máximo posible el espacio utilizado. El nuevo condensador cuenta con un diámetro nominal de 700 mm y por lo tanto es superior al actual (que es de 600 mm).

El espacio de la planta se ajusta a las nuevas medidas, tanto las del condensador actual como la ampliación y quedaría perfectamente habilitado para que todo siguiera trabajando como lo hacía hasta el momento.

5. MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

5.1. Objetivos del mantenimiento

La estrategia del plan de mantenimiento debe adecuarse y satisfacer a unos objetivos preestablecidos, A continuación, se citan los establecidos para la nueva instalación del equipo 07W02.2 y su instrumentación y tuberías.

1. Asegurar un buen rendimiento y fiabilidad de los activos.
2. Garantizar la seguridad.
3. Minimizar los costes de mantenimiento.

5.2. Plan de mantenimiento

El mantenimiento del condensador y los elementos de la nueva instalación es fundamental ya que es un equipo imprescindible para la obtención del producto final en las condiciones deseadas. En caso de que el intercambiador fallase en algún aspecto podría suponer graves pérdidas por paradas imprevistas y problemáticas de seguridad y medio ambiente.

5.2.1. Inventario de equipos

Los diferentes equipos y componentes que forman el proceso han sido citados y presentados en la Tabla 4.9.1 y la Tabla 4.9.2 y el condensador está en la ficha de especificación en el apartado 4.7.5.

Se han ordenado los equipos e instrumentos según el tipo y la funcionalidad de éstos de forma que se les ha asignado el nivel de criticidad que tienen, de manera que I presenta una criticidad baja y puede no suponer grandes necesidades de mantenimiento, un valor de II es importante la revisión y finalmente cuando indica una criticidad III es muy crítico el instrumento o equipo y es esencial su mantenimiento para asegurar el buen funcionamiento.

Tabla 5.2.1. Clasificación de los elementos de la instalación según su criticidad.

Elemento	Tipo	Cantidad	Nivel de criticidad
Válvulas	Manuales	10	I
	Automáticas de control	1	III
	De seguridad de sobrepresión	1	III
Transmisor	De presión	1	II
	De temperatura	2	III
	De nivel de líquido	1	I
Compensador	-	2	I
Mirilla	-	1	I
Tuberías		7	II
Condensador 07W02.2		1	III
Aislamiento térmico		1	I
Calorifugado		-	I

5.2.2. Recopilación de información para el mantenimiento

Para poder definir correctamente la estrategia de mantenimiento, es necesario conocer las condiciones de operación, materiales y diseño del equipo. Para ello se dispone de la hoja de

especificaciones del 07W02.2 en el apartado 4.7. Este equipo tiene un factor de servicio de 8800 h/año.

Este apartado deberá ampliarse con las recomendaciones del fabricante una vez sea seleccionado por la empresa y con la normativa legal correspondiente.

Tabla 5.2.1. Datos del tiempo mínimo entre fallos (MTBF).

Equipo		Especificación	MTBF	Fuente
Grupo	Descripción			
Aparato	Intercambiador de calor	Tubo/haz intercambiador de calor	11.8	OREDA 2002. Mean (critical) for operating time; S. 396
Eléctrica e instrumentación	PIMS plant information and management system	-	1.0	BASF competence center/ workshop
Instrumentación de medidas	Instrumentación de medidas no analíticas	-	34.2	OREDA 2002. Mean (critical) for operating time: S. 334
Otros equipos	Ecuación de presión	Válvula de seguridad	50.0	BASF competence center/ workshop

5.2.3. Estrategias de mantenimiento

La selección del tipo de mantenimiento a aplicar en cada equipo se ha determinado con la ayuda del gráfico de decisión basado en el tipo de fallo y la posibilidad de vigilancia de la figura 5.2.1. Y se ha construido una matriz de riesgo de cada tipo de mantenimiento (tabla 5.2.2).

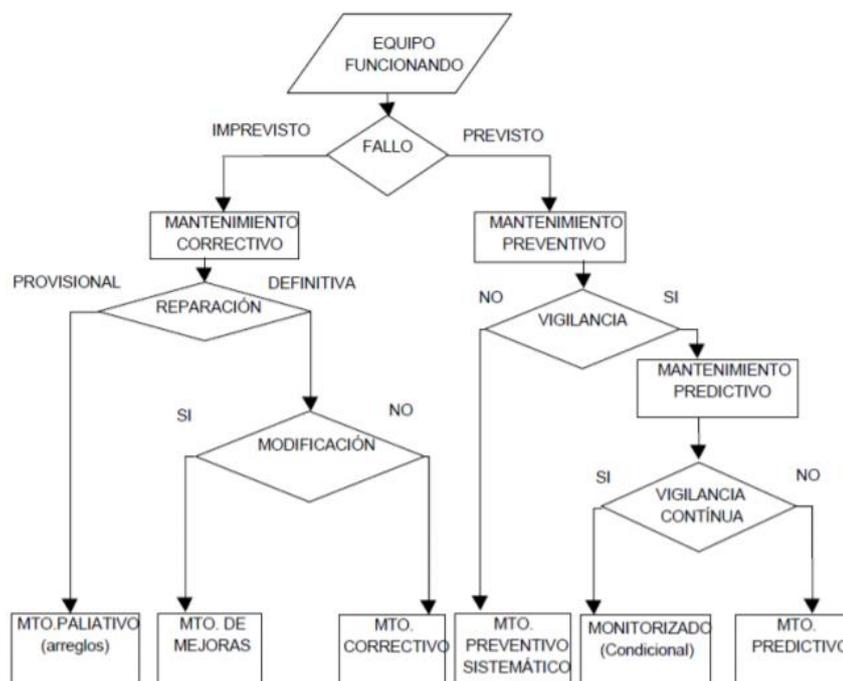


Figura 5.2.1. Diagrama de árbol para la selección del tipo de mantenimiento.

Tabla 5.2.2. Matriz de riesgo de la comparativa entre estrategias de mantenimiento.

	Reactivo	Preventivo	Predictivo
Costes de operación			
Paradas no planificadas			
Averías catastróficas			
Gastos en revisiones			
Gastos en repuestos			
Inmovilizado en almacén			
Pérdidas de producto por falta de disponibilidad de la planta			
Penalizaciones por retrasos en entregas			
Calidad del producto fabricado			
Coste de las primas en seguros			
Fiabilidad global de la planta			

5.2.3.2 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es el conjunto de actividades de reparación o sustitución de los elementos efectuado después del fallo.

Esta estrategia de mantenimiento permite aprovechar al máximo la vida útil de los equipos y no requiere de grandes infraestructuras ni complejos sistemas de análisis. Pero esta simplicidad, supone averías de forma imprevista y necesidad de tener un stock de repuestos importante para no perjudicar a la producción.

Por estos motivos sus aplicaciones se limitan a:

- Sistemas complejos cuando no es posible predecir fallos.
- Activos que si se paran para el mantenimiento no suponen pérdidas de indisponibilidad. O en todo caso el coste de las pérdidas es inferior al coste total de las acciones preventivas.
- Equipos de alta fiabilidad y baja criticidad.

5.2.3.3 Mantenimiento preventivo sistemático

El mantenimiento preventivo sistemático consiste en un conjunto de actividades programadas en intervalos regulares de tiempo para reducir la frecuencia y el impacto de los fallos. Teniendo en cuenta la criticidad de cada máquina y la disponibilidad de reserva.

Sus aplicaciones se limitan a:

- En equipos de naturaleza mecánica o electromecánicas a desgaste seguro.
- Equipos con una relación fallo-duración de vida conocida.



5.2.3.4 Mantenimiento preventivo en base estado

El mantenimiento preventivo en base a estado es un conjunto de actividades programadas en las cuales se evalúa el estado de los equipos y sus componentes, de tal forma que según la revisión se decide si aplicar la técnica de mantenimiento correspondiente.

5.2.3.5 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo o basado en la condición está ligado a la superación de un umbral predeterminado en un estado del inicio del deterioro (incipiente) con la finalidad de aumentar la vida útil de los componentes. Se trata de conjunto de técnicas directas e indirectas que permiten el seguimiento de ciertos parámetros característicos del equipo. Éstos deben ser sensibles a un defecto concreto, se modifica como consecuencia de la aparición de alguna anomalía y su repetición es de la misma forma. En este mantenimiento se puede programar las paradas y reparaciones previéndose los repuestos necesarios.

5.2.4. Organigrama de mantenimiento

Una vez determinado los tipos de mantenimientos, se recoge en el organigrama, en la tabla 5.2.3, la estrategia a aplicar para los diversos activos presentes en la instalación. Esto permitirá una fácil lectura a los encargados del mantenimiento para conocer cuando debe llevarse a cabo su aplicación (en parada o en operación) y que mantenimiento deben aplicar en cada activo.

Tabla 5.2.3. Organigrama de la estrategia de mantenimiento a aplicar por activos.

Ítem	Mantenimiento preventivo			
	Mantenimiento correctivo	Sistemático	En base estado	Basado en condición (Predictivo)
Tuberías				X
07W02.2				X
Válvulas manuales	X			
Válvula de control			X	
PSV				X
Transmisor de nivel		X		
Transmisor de temperatura		X		
Transmisor de presión			X	
Calorifugado			X	
Aislamiento térmico			X	

5.3. Técnicas para el mantenimiento predictivo

En base a la estrategia de mantenimiento definida para cada activo de la nueva instalación se definen y programan las técnicas y actividades que se les deben llevar a cabo para detectar fallos en los activos de forma incipiente.

Tabla 5.3.1. Programación de actividades del 07W02.2.

Parámetro indicador	Técnica	Estado	Frecuencia ¹
Presión, nivel y temperatura	Seguimiento de evolución con los instrumentos TICA+, LIA+, PIRA+, TI	En operación	-
Observación visual	Testigos, endoscopios	En operación/ en parada	-
Fugas	Ultrasonidos	En operación/ en parada	-
Fisuración	Ultrasonidos	En operación/ en parada	-
Desgaste	Ultrasonidos	En operación/ en parada	-
Corrosión	Ultrasonidos	En operación/ en parada	-

¹ A cargo de la empresa y sujeta a normativa legal

Tabla 5.3.2. Programación de actividades de la PSV.

Parámetro indicador	Técnica	Estado	Frecuencia ¹
Inspección visual	Mirilla M-101	En operación/ en parada	-
Desgaste	Ultrasonidos	En operación/ en parada	-
Corrosión	Ultrasonidos, rayos X, testigos	En operación/ en parada	-
Fugas	Ultrasonidos, ruidos	En operación/ en parada	-
Constante del muelle	Recalibración en el banco	En parada	-

¹ A cargo de la empresa y sujeta a normativa legal

Tabla 5.3.3. Programación de actividades de las tuberías

Parte	Técnica	Estado	Frecuencia ¹
Inspección visual	Testigos, endoscopios	En parada	-
Corrosión	Ultrasonidos, rayos X, testigos	En operación/ en parada	-
Fugas	Ultrasonidos, ruidos	En operación/ en parada	-
Fisuración	Ultrasonidos	En operación/ en parada	-
Desgaste	Ultrasonidos	En operación/ en parada	-

¹ A cargo de la empresa y sujeta a normativa legal

6. ESTUDIO ECONÓMICO

A continuación, se muestra el balance económico realizado para saber si el proyecto planteado es viable o por otro lado no lo es. Todos los cálculos realizados se han hecho a partir de coeficientes marcados por el libro “*Chemical engineer volumen 6 de Coulson y Richardson*”. (ref. 6) (ref. 7). Estos coeficientes permiten hacer un cálculo aproximado de todo aquello que engloba la operación.

Se ha dividido por dos fases, la inversión inicial, los costes directos. (ref. 16)

6.1. Inversión inicial

La inversión inicial viene marcada por diferentes por los diferentes equipos necesarios para llevar a cabo la operación. (ref. 3)

Para llevar a cabo la operación con los coeficientes hay que coger de base el precio del condensador que viene definido por el Aspen, en este caso de 35000 €. A partir de este número y los coeficientes de las demás variables se consigue encontrar un cálculo aproximado de todo.

A continuación, en las tablas 6.1.1 se muestran los diferentes precios de los equipos con sus respectivos coeficientes.

Tabla 6.1.1. Precio equipos.

Operación	Coeficiente	Precio (€)
Condensador	-	35,000
Montaje del equipo	0.4	14,000
Tuberías	0.7	24,500
Instrumentación	0.2	7,000

La inversión inicial será de 80,500 euros.

6.2. Costes directos

Los costes directos, son aquellos que están directamente relacionados con la obtención del producto y no varían.

Para realizar el cálculo de los costes directos e indirectos, se tiene en cuenta, la inversión inicial y los coeficientes de dichos costes.

A continuación, en la tabla 6.2.1 se muestran los precios de los costes directos con sus respectivos coeficientes.

Tabla 6.2.1. Precio de los costes directos.

Operación	Coeficiente	Precio (€/año)
Diseño e ingeniería	0.25	20,125
Contratistas	0.07	5,635
Contingencia	0.07	5,635

Los costes directos son de 31,395 euros anuales.

6.3. Ingresos

En este apartado, se muestran los ingresos marcados por los días de parada que se ahorrará la planta al añadir el nuevo condensador. En este caso, se ha supuesto que serán dos días de parada los que serán ahorrados.

A continuación, en la tabla 6.3.1 se muestran los beneficios en función de la producción y los días de parada.

Tabla 6.3.1. Beneficios.

Información	
Días de parada	2
Precio (€/ton)	100
Producción (ton/día)	500
Ganancia total (M€)	1

Los beneficios anuales serán aproximadamente de 0,1M de euros.

6.4. Análisis de costes

Una vez establecidos los ingresos y los gastos que tiene la instalación, se muestra los cálculos realizados. Se ha decidido realizar el cálculo a tres años vista.

En la tabla 6.4.1. se puede ver un resumen de la cuenta de resultados que se utiliza para el cálculo del BDI el cual corresponde a los beneficios después de impuestos, que es el beneficio antes de impuestos aplicando la diferencia correspondiente a la tasa impostora de 30%.

Para finalizar, los beneficios antes de impuestos corresponden a la diferencia entre los ingresos y los gastos. En este caso, no hay amortización, ya que la inversión realizada no se amortiza. Por lo tanto, el Cash Flow será igual al BDI.

Tabla 6.4.1. Cuenta de resultados.

Cuenta de resultados	Primer año (M€/año)	Segundo año (M€/año)	Tercer año (M€/año)
Ingresos	0.1	0.1	0.1
-Gastos	0.031	0.031	0.031
BAI	0.069	0.069	0.069
-BAI·30%	0.021	0.021	0.021
BDI	0.048	0.048	0.048
CF	0.048	0.048	0.048
CF acumulado	0	0.031	0.017

Una vez conocidos todos los costes asociados a la tabla de cuenta de resultados, se ha realizado el cálculo del VAN. Este método nos permite saber si el proyecto es rentable o no. Para llevar a cabo el cálculo se ha utilizado la ecuación 6.4.1 que se muestra a continuación.

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i} \quad (6.4.1)$$

Además, se ha calculado el TIR a partir de la ecuación 6.4.2 que permite medir la rentabilidad en términos relativos. Para calcular el TIR, será necesario igualar la ecuación del VAN a cero y buscar la r .

$$0 = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} \quad (6.4.2)$$

Por último, se ha procedido a calcular el *Payback Period*, el cual es el plazo de recuperación de la inversión inicial calculado mediante los flujos de caja de la cuenta de resultados. A continuación, en la ecuación 6.4.3. se muestra la fórmula.

$$Pay\ Back = \frac{I_0}{CF} \quad (6.4.3)$$

A continuación, en la tabla 6.4.2. se muestran los resultados obtenidos por el VAN, el TIR y el *Payback*:

Tabla 6.4.2.Resultados obtenidos.

Metodología	Resultado
VAN (M€)	0.039
TIR (%)	34.87
<i>Payback Period</i> (meses)	20

Una vez vistos los resultados, se puede comprobar que el proyecto es viable a nivel económico ya que hay un VAN muy superior a 0 y la recuperación de la inversión inicial (el *Payback Period*) será recuperado en 20 meses aproximadamente.

7. CONCLUSIONES

El estudio de la problemática en el funcionamiento del condensador 07W02 permite comprobar que el diseño de este no dispone del área necesaria para cumplir los requisitos térmicos y permite el paso del MDI y MCB que reducen la capacidad de vacío de las bombas posteriores.

Tras el análisis de las posibles alternativas se concluye que la opción más viable es la instalación de un condensador adicional, 07W02.2. Para el diseño térmico de éste, se evaluó la posibilidad de emplear como refrigerante el MCB a 38°C disponible en planta para garantizar que el MDI no solidificase y formase obstrucciones. Esta opción ha sido descartada ya que termodinámicamente no permitía bajar a temperaturas suficientes para condensar los vapores.

A raíz de estos resultados, se realizó un estudio de las propiedades de la mezcla de MDI, MCB y PHI a 7 mbar y se apreció la necesidad de bajar a temperaturas inferiores a 20°C para tener una separación de fases significativa, teniendo como temperatura de burbuja 11.9°C.

Como propuesta de solución, se plantea el uso de MCB a 5°C como refrigerante en un intercambiador de carcasa y tubos en posición vertical tipo BEM. El fluido de proceso irá por tubos para facilitar la limpieza en caso de obstrucciones por la presencia de MDI y el refrigerante por carcasa. Al ser el MDI un compuesto minoritario quedará disuelto en el MCB.

Con este diseño se consigue una condensación total, así obteniendo un caudal de salida de proceso a 10°C y una pérdida de carga inferior al 10% de la presión de entrada. Los requerimientos térmicos del equipo para conseguirlo son un calor intercambiado de 38.1 kW y 130 m² de área sobredimensionada con un exceso del 14%, dando como resultado un diámetro interno de la carcasa de 700 mm y una longitud de tubos de 3150 mm.

Una vez definida la geometría y el diseño térmico, se ha hecho el diseño mecánico para determinar los espesores necesarios de los tubos, placa tubular, carcasa y cabezales siguiendo la normativa alemana AD-Merkblätter. Los valores obtenidos quedan dentro de los rangos de dimensionamiento estándar aceptables.

También se ha planteado la estrategia de control e instrumentación necesaria del 07W02.2 para garantizar el funcionamiento y seguridad de la instalación. Este se ha reflejado en forma de diagrama en el P&ID-101.

Una vez disponible el inventario de equipos para la nueva instalación, se ha procedido a definir una estrategia de mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo para cada activo en función de su criticidad. También se han valorado las diferentes técnicas de predictivo a aplicar.

Para concluir el proyecto, se ha realizado un estudio de viabilidad económica donde se han valorado los beneficios de instalación del nuevo intercambiador de calor adicional frente al coste de 0.1 M€ de dos días de parada por mantenimiento de la instalación actual debido a los problemas operativos ya existentes. El resultado ha sido invertir en la nueva instalación, obteniéndose un beneficio para los inversores con un VAN positivo de 0.039M€, una tasa interna de retorno del 34,87% y una recuperación de la inversión (*Payback period*) de 1 año y 8 meses.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Aspen Physical property system: Physical Property Methods and Models*. (2001, septiembre). (11.1). Recuperado de http://web.ist.utl.pt/~ist11061/de/ASPEN/Physical_Property_Methods_and_Models.pdf
- [2] *ANEXO E2 – Bases de cálculo de tuberías*. (2015). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17145/ANEXO?sequence=7>
- [3] Base de datos McGraw Hill. (2021). Recuperado 19 de mayo de 2021, de <http://www.mhhe.com/engcs/chemical/peters/data/ce.html>
- [4] Calculadora de fluidos. (2021). Recuperado 24 de mayo de 2021, de <https://www.burkert.es/es/Servicio-Asistencia/Prestacion-de-servicios/Glosario/Calculadora-de-fluidos>
- [5] *Catálogo general productos SAMSON*. (2020, agosto). Recuperado de <https://sed.samsongroup.com/document/k00200es.pdf>
- [6] Cost Estimation. (2014, 19 enero). Recuperado 22 de mayo de 2021, de <https://chemicalprojects.net/projects/production-of-amyl-alcohol/cost-estimation/>
- [7] Coulson, J. M., Richardson, J. F., & Sinnott, R. K. (1983). *CHEMICAL ENGINEERING: An Introduction to Chemical Engineering Design* (Vol. 6). Oxford, Reino Unido: Pergamon press.
- [8] Druckbehälter, A. & Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter. (2003). *AD 2000 Code*. Luxemburger, Luxemburger: Carl Heymanns Verlag.
- [9] Evaluación del riesgo sísmico. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2002, 30 junio). Recuperado 1 de diciembre de 2020, de <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Descargas/Cartografia-geologica-y-geotematica/Mapas-geofisicos-y-sismicos/Evaluacion-del-riesgo-sisimico>
- [10] Fox, A. P. P. (2015, 1 mayo). Comparing TEMA Types BEM and BEU Heat Exchangers. Recuperado 12 de abril de 2021, de <https://www.process-heating.com/articles/90851-comparing-tema-types-bem-and-beu-heat-exchangers>
- [11] GRM Válvulas e instrumentación. (2021, 21 abril). ¿Cómo determinar el diámetro nominal? - GRM Válvulas e instrumentación. Recuperado 3 de mayo de 2021, de <https://www.grm.com.es/es/project/como-determinar-el-diametro-nominal-requerido/>
- [12] Hewitt, G. F. (2002). *Heat Exchanger Design Handbook 2008* (Vol. 3). New York, EEUU: Begell House.
- [13] K. (2020, 25 noviembre). Lluvia por un día. Recuperado 1 de diciembre de 2020, de https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/tarragona_espac3%b1a_3108288

[14] Morales-Fuentes, A., & Picón-Núñez, M., & Martínez-García, M. (2006). Efecto de la configuración de redes en el área total de intercambio de calor en sistemas de enfriamiento. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(1),93-99. [fecha de Consulta 24 de Marzo de 2021]. ISSN: 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62009915>

[15] *Serie 240. Válvulas de accionamiento neumático Tipo 3241-1 y Tipo 3241-7*. (2012, agosto). Recuperado de <https://www.samsongroup.com/document/t80120es.pdf>

[16] Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., & Shaeiwitz, J. A. (2008). *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes; Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences* (3 Har/Cdr ed.). Upper Saddle River, Nueva Jersey: Prentice Hall College Div.

[17] Villajulca, J. C. (2020, 3 mayo). Ejemplo paso a paso. Como Dimensionar una válvula de control. Recuperado 29 de mayo de 2021, de <https://instrumentacionycontrol.net/ejemplo-paso-a-paso-como-dimensionar-una-valvula-de-control/>

ANEXOS

A.1. HOJA TEMA DEL 07W02 EN ASPEN EXCHANGER DESIGN & RATING

1	Company:											
2	Location:											
3	Service of Unit:					Our Reference:						
4	Item No.:					Your Reference:						
5	Date:		Rev No.:			Job No.:						
6	Size: 600 - 2089		mm		Type: BEU Vertical		Connected in: 1 parallel 1 series					
7	Surf/unit(eff.)		21.2 m ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 21.2 m ²					
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT											
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side				
10	Fluid name											
11	Fluid quantity, Total				331			19226				
12	Vapor (In/Out)		kg/h		331		331		0 0			
13	Liquid		kg/h		0		1		19226 19226			
14	Noncondensable		kg/s		0		0		0 0			
15												
16	Temperature (In/Out)		°C		175		58.47		40 41.76			
17	Bubble / Dew point		°C		-241.57 / 82.78		-241.61 / 79.03		/ /			
18	Density Vapor/Liquid		kg/m ³		0.02 /		0.02 / 1137.32		/ 1087.88 / 1086			
19	Viscosity		mPa-s		0.0111 /		0.0082 / 1.8165		/ 0.64 / 0.6281			
20	Molecular wt, Vap				113.24		113.15					
21	Molecular wt, NC											
22	Specific heat		kJ/(kg-K)		1.246 /		0.95 / 1.331		/ 0.904 / 0.908			
23	Thermal conductivity		W/(m-K)		0.0193 /		0.0105 / 0.1088		/ 0.1241 / 0.1237			
24	Latent heat		kJ/kg		364.3		377.6					
25	Pressure (abs)		bar		0.007		0.00521		2 1.98949			
26	Velocity (Mean/Max)		m/s		0 / 0				0.22 / 0.22			
27	Pressure drop, allow./calc.		bar		0.004		0.00179		0.4 0.01051			
28	Fouling resistance (min)		m ² -K/W		0.0002				0.0002 0.00024 Ao based			
29	Heat exchanged		12 kW				MTD (corrected) 56.81		°C			
30	Transfer rate, Service		10 Dirty 10				Clean 10		W/(m ² -K)			
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL							Sketch				
32					Shell Side		Tube Side					
33	Design/Vacuum/test pressure		bar		3 / /		10 / /					
34	Design temperature / MDMT		°C		250 /		250 /					
35	Number passes per shell				1		2					
36	Corrosion allowance		mm		0		0					
37	Connections		In mm		1 536 / -		1 80 / -					
38	Size/Rating		Out		1 87.4 / -		1 80 / -					
39	ID		Out - Vapor		1 355.8 / -		/ / -					
40	Tube #: 64 U's OD: 25 Tks. Average 2 mm Length: 2089 mm Pitch: 38 mm Tube pattern:30											
41	Tube type: Plain			Insert:None			Fin#:				#/m Material: Graphite Tubes	
42	Shell Graphite		ID 600 OD 684		mm		Shell cover		Graphite			
43	Channel or bonnet Graphite						Channel cover		-			
44	Tubesheet-stationary Graphite Block		-				Tubesheet-floating		-			
45	Floating head cover -						Impingement protection		None			
46	Baffle-cross Graphite		Type Single segmental		Cut(%d) 43.75		HorizSpacing: o/c 950.74 mm					
47	Baffle-long -		Seal Type				Inlet 1286.47		mm			
48	Supports-tube U-bend		0				Type					
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint		Cemented					
50	Expansion joint -				Type None							
51	RhoV2-Inlet nozzle		Bundle entrance 4				Bundle exit 59		kg/(m-s ²)			
52	Gaskets - Shell side		Flat Metal Jacket Fibe		Tube side		Flat Metal Jacket Fibe					
53	Floating head		-									
54	Code requirements		AD-Merkblätter		TEMA class B - chemical service							
55	Weight/Shell		6281.8 Filled with water 7003.6		Bundle 817.2				kg			
56	Remarks											
57												
58												

A.2. HOJA TEMA DEL 07W02.2 EN ASPEN EXCHANGER DESIGN & RATING CON MCB A 5°C

1	Company:														
2	Location:														
3	Service of Unit:					Our Reference:									
4	Item No.:					Your Reference:									
5	Date:	Rev No.:	Job No.:												
6	Size:	700 - 3150	mm	Type:	BEM Vertical	Connected in:		1 parallel	1 series						
7	Surf/unit(eff.)	130.2	m ²	Shells/unit	1	Surf/shell(eff.)		130.2	m ²						
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT														
9	Fluid allocation			Shell Side			Tube Side								
10	Fluid name														
11	Fluid quantity, Total			25000			322								
12	Vapor (In/Out)			kg/h			0		322		0				
13	Liquid			kg/h			25000		25000		0				
14	Noncondensable			kg/s			0		0		0				
15															
16	Temperature (In/Out)			°C			5		9.64		72				
17	Bubble / Dew point			°C			/		/		11.84 / 78.56				
18	Density Vapor/Liquid			kg/m ³			/ 1124.44		/ 1119.69		0.03 / 1133.3				
19	Viscosity			mPa-s			/ 0.9621		/ 0.9075		0.0086 / 0.0387				
20	Molecular wt, Vap										113.02				
21	Molecular wt, NC														
22	Specific heat			kJ/(kg-K)			/ 1.178		/ 1.187		0.987 / 1.364				
23	Thermal conductivity			W/(m-K)			/ 0.1308		/ 0.1299		0.0116 / 0.1041				
24	Latent heat			kJ/kg							370.3				
25	Pressure (abs)			bar			2		1.97712		0.007				
26	Velocity (Mean/Max)			m/s			0.06 / 0.07				12.89 / 25.78				
27	Pressure drop, allow./calc.			bar			0.4		0.02288		0.0007				
28	Fouling resistance (min)			m ² -K/W			0.0002		0.0002		0.00025 Ao based				
29	Heat exchanged			kW			38.1		MTD (corrected)		4.7 °C				
30	Transfer rate, Service			Dirty			62.2		Clean		73.2 W/(m ² -K)				
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL														
32				Shell Side			Tube Side								
33	Design/Vacuum/test pressure			bar			3 / / /		3 / / /						
34	Design temperature / MDMT			°C			110 / / /		110 / / /						
35	Number passes per shell						1		1						
36	Corrosion allowance			mm			1.5Ø		1.5Ø						
37	Connections			In mm			1 78.1 / -		1 436 / -						
38	Size/Rating			Out			1 78.1 / -		1 35.2 / -						
39	ID			Out - Vapor			/ - 1		13.3 / -						
40	Tube #:	707	OD:	19.05	Tks. Average	2	mm	Length:	3150	mm	Pitch:	23.81	mm	Tube pattern:	30
41	Tube type:	Plain	Insert:	None	Fin#:		#/m	Material:	Carbon Steel						
42	Shell	Carbon Steel	ID	700	OD	716	mm	Shell cover	-						
43	Channel or bonnet	Carbon Steel				Channel cover	-								
44	Tubesheet-stationary	Carbon Steel				Tubesheet-floating	-								
45	Floating head cover	-				Impingement protection	None								
46	Baffle-cross	Carbon Steel	Type	Single segmental	Cut(%d)	41.16	HorizSpacing:	c/c	530	mm					
47	Baffle-long	-	Seal Type				Inlet	743.98	mm						
48	Supports-tube	U-bend	0	Type											
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint	Expanded only (2 grooves)(App.A '7)									
50	Expansion joint	-	Type	None											
51	RhoV2-Inlet nozzle	1869	Bundle entrance	8	Bundle exit	8	kg/(m ² -s)								
52	Gaskets - Shell side	-	Tube side	Flat Metal Jacket Fibe											
53	Floating head														
54	Code requirements	AD-Merkblätter			TEMA class	B - chemical service									
55	Weight/Shell	3006.2	Filled with water	4329.8	Bundle	2100.1	kg								
56	Remarks														
57															
58															





A.2. FICHAS DE SEGURIDAD DE LOS COMPUESTOS

A continuación, se presentan las fichas de seguridad de los compuestos presentes en el proceso, el diisocianato de difenilmetano polimérico y el clorobenceno.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD



1. Identificación

Covestro LLC
1 Covestro Circle
Pittsburgh, PA 15205
USA

EMERGENCIA EN TRANSPORTACIÓN

LLAMAR A CHEMTREC: (800) 424-9300
INTERNACIONAL: (703) 527-3887

NO TRANSPORTE

Número de Teléfono de Emergencia: Call Chemtrec
Tel. Información: (844) 646-0545

Nombre del producto: DESMODUR 44 V 20 L
Número de Material: 05596408
Familia Química: Isocianato Aromático
Uso: Componentes de di/polisocianato para la producción de poliuretanos

2. Identificación de los peligros

Clasificación SGA

Toxicidad aguda (Inhalación): Categoría 4
Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única: Categoría 3 (Sistema respiratorio)
Sensibilización respiratoria: Categoría 1
Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas: Categoría 1 (Vías respiratorias)
Irritación cutáneas: Categoría 2
Sensibilización cutánea: Categoría 1
Irritación ocular: Categoría 2B

Elementos de las etiquetas del SGA

Pictogramas de peligro:



Palabra de advertencia: Peligro

Indicaciones de peligro: Nocivo en caso de inhalación.
Puede irritar las vías respiratorias.
Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.
Perjudica a determinados órganos (Vías respiratorias) por exposición prolongada o repetida.

Nombre del Material: DESMODUR 44 V 20 L

Número de Material: 05596408

Provoca irritación cutánea.
Puede provocar una reacción alérgica en la piel.
Provoca irritación ocular.

Consejos de prudencia:

Prevención:

Usar guantes.

Intervención:

En caso de contacto con la piel, lavar con abundante agua y jabón.

Almacenamiento:

Guardar bajo llave.

Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.

Eliminación:

Eliminar el contenido y recipiente conforme a lo dispuesto en su plan de manejo de residuos y en concordancia con la reglamentación vigente.

3. Composición/Información sobre los componentes

Componentes peligrosos

<u>Concentración</u>	<u>Componentes</u>	<u>No. CAS</u>
40 - 50%	4,4'-Diisocianato de Difenilmetano	101-68-8
30 - 40%	Diisocianato de Difenilmetano Polimérico (pMDI)	9016-87-9
15 - 25%	2,4'-Difenilmetan Diisocianato (MDI)	5873-54-1

La identidad química específica y/o el porcentaje exacto del(los) componente(s) han sido retenidas como secreto comercial.

4. Primeros auxilios

Principales síntoma(s) y efecto(s)

Agudo: Los vapores o nieblas de diisocianato a concentraciones arriba del TLV o PEL pueden irritar (sensación de ardor) las membranas mucosas en las vías respiratorias (nariz, garganta, pulmones) causando escurreimiento en la nariz, garganta irritada, tos, incomodidad en el pecho, falta de aire, y función pulmonar reducida (obstrucción respiratoria). Personas con una hiperreactividad bronquial no específica preexistente pueden responder a concentraciones abajo del TLV o PEL con síntomas similares, así como un ataque de asma o síntomas parecidos al asma. La exposición muy por encima del TLV o PEL puede conducir a bronquitis, espasmo bronquial, y edema pulmonar (fluido en los pulmones). También se ha reportado neumonitis química o por hipersensibilidad, con síntomas similares a la gripe (p.ej, fiebre, escalofríos). Estos síntomas pueden demorarse hasta por varias horas después de la exposición. Estos efectos usualmente son reversibles.

Causa irritación de la piel con síntomas de enrojecimiento, comezón, e inflamación. Personas previamente sensibilizadas pueden experimentar una reacción alérgica de la piel con síntomas de enrojecimiento, comezón, e inflamación. Personas previamente sensibilizadas pueden experimentar reacciones alérgicas de la piel con síntomas de enrojecimiento, comezón, inflamación y sarpullido. El material curado es difícil de retirar.

Causa irritación de los ojos con síntomas de enrojecimiento, lagrimeo, picazón, e inflamación. Puede causar lesión temporal en la córnea. El vapor o aerosol puede causar irritación con síntomas de ardor y

lagrimeo.

Puede causar irritación del tracto digestivo; los síntomas pueden incluir dolor abdominal, náusea, vómito y diarrea.

Retrasado: Los síntomas en las vías respiratorias pueden aparecer incluso pasadas algunas horas de la exposición excesiva.

Contacto con los ojos

En caso de un contacto, enjuagar inmediatamente los ojos con agua en abundancia por lo menos durante 15 minutos. Use agua tibia si es posible. Use los dedos para asegurar que estén separados los párpados y que el ojo está siendo irrigado. Busque atención médica.

Contacto con la piel

Si se produce contacto directo en la piel con los isocianatos, remueva la ropa y los zapatos contaminados inmediatamente. Limpie el producto que contiene isocianato en la piel utilizando toallas secas o telas absorbentes similares. Si está disponible, aplique un limpiador basado en poliglicol [p. ej. el limpiador D-TAM™ manufacturado por SKC, Inc. (SKC)] o aceite de maíz. Lavar con agua tibia y jabón por 15 minutos. Si está disponible, utilice una almohadilla de prueba de limpieza para verificar si la descontaminación está completa (p. ej. SKC SWYPE™). Busque atención médica si se desarrolla irritación. Descarte o lave la ropa contaminada antes de su uso.

Inhalación

Mueva a un área libre de exposición posterior. Las reacciones asmáticas extremas que pueden ocurrir en personas sensibilizadas pueden poner en peligro la vida. Busque inmediatamente atención médica. Aplique oxígeno o respiración artificial si es necesario. Pueden desarrollarse síntomas de asma y pueden ser inmediatos o demorarse varias horas.

Ingestión

No provocar el vómito. Enjuague la boca con agua. No de nada por la boca a una persona inconsciente. Busque atención médica.

Notas para el médico

Ojos: Tiña para evidencia de lesión a la cornea. Si la cornea presenta quemaduras, aplique una preparación de antibiótico/esteroide, según sea necesario. Los vapores en el lugar del trabajo producen edema epitelial reversible en la cornea afectando la visión. Piel: Este compuesto es un sensibilizador de la piel. Trate sintomáticamente como para una dermatitis por contacto o una quemadura térmica. Ingestión: Trate sintomáticamente. No existe un antídoto específico. Es contraindicado inducir el vómito debido a la naturaleza irritante del compuesto. Inhalación: El tratamiento es esencialmente sintomático. Una persona que tenga una reacción de sensibilización cutánea o pulmonar a este material debe ser retirada de exposiciones posteriores a cualquier diisocianato.

5. Medidas contra incendio

Medios de extinción apropiados: Producto químico en polvo, Dióxido de carbono (CO₂), Espuma, rocío de agua para incendios grandes

Agentes de extinción inadecuados: Chorro de agua de gran volumen

Procedimientos de combate contra incendio

Los bomberos deben usar equipo de protección para combate de incendios estructurales que cumpla con las recomendaciones de la NFPA, incluyendo equipo de respiración autocontenido y casco, capucha, botas y guantes que cumplan las recomendaciones de la NFPA. Evite el contacto con el producto. Descontamine el producto y ropa de protección antes de volver a usarlas. Durante un fuego pueden generarse vapores de isocianatos y otros gases irritantes altamente tóxicos por descomposición térmica o combustión. La

exposición a diisocianato caliente puede ser extremadamente peligrosa.

Productos de descomposición peligrosos

Por Fuego y Calor Intenso: Dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), humo denso negro., Isocianato, Ácido Isocianico, Otros compuestos no determinados

Riesgos No Usuales de Fuego/Explosión

Los contenedores cerrados pueden reventar bajo calor extremo o cuando el contenido se haya contaminado con agua (formación de CO₂). Use rocío de agua fría para enfriar contenedores expuestos al fuego para minimizar el riesgo de ruptura. Fuegos grandes pueden ser extinguidos con grandes volúmenes de agua aplicados desde una distancia segura, ya que la reacción entre el agua y el diisocianato caliente puede ser vigorosa.

6. Medidas en caso de vertido accidental

Derrames y fugas

Implemente un plan para manejo de emergencias en el área. Evacuar al personal que no es de emergencia. La magnitud del desalojo depende de la cantidad derramada, las condiciones del área y la temperatura del ambiente. Aislar el área y prevenir el acceso de personas no autorizadas. Notifique a la gerencia. Llame a CHEMTREC al 1-800-424-9300 para asistencia y consejería.

Utilice el equipo de protección personal necesario especificado en la hoja de datos de seguridad (SDS por sus siglas en inglés) o en el plan de manejo de emergencias. Ventile y remueva las fuentes de ignición. Controle las fuentes de fuga. Contenga el material liberado mediante represado, dique, retención o desvío en un área de contención apropiada. Absorber o extraer la mayor cantidad posible de material derramado. Cuando se utilice absorbente, cubra completamente el área derramada con material absorbente adecuado (p. ej. vermiculita, arena para gatos, Oil-Dry® etc.). Permita que el material absorbente absorba el líquido derramado. Pala el material absorbente en un recipiente de metal aprobado (es decir, tambor de salvamento de 55 galones). No llene el recipiente más de 2/3 por completo para permitir la expansión, y no apriete la tapa del recipiente. Repita la aplicación del material absorbente hasta que todo el líquido sea removido de la superficie. Para derrames de producto sólido, remueva utilizando asistencia mecánica (barrer, aspirar, palear etc.), recoja y coloque en un recipiente metálico aprobado.

Descontaminar la superficie del derrame utilizando una solución de neutralización (vea la lista de soluciones en el SDS); lavar la superficie con una escoba o cepillo ayuda a que la solución de descontaminación penetre las superficies porosas. Espere por lo menos 15 minutos luego de la primera aplicación de la solución de descontaminación. Cubra el área con material absorbente y pala el mismo en un contenedor de metal aprobado. La contaminación de la superficie residual se puede comprobar con una almohadilla de prueba de limpieza para verificar que la descontaminación está completa (p. ej. SKC Surface Swypes™). Si la prueba con la almohadilla demuestra que los isocianatos todavía están en la superficie (color rojo en la almohadilla), repita la aplicación de la solución de descontaminación, con escoba o cepillo, seguido por un absorbente hasta que la superficie esté descontaminada (no cambio de color en la almohadilla). Aplique la tapa flojamente en el contenedor de metal para residuos (no apriete la tapa porque el dióxido de carbono y el calor pueden generarse a través del proceso de neutralización). Cuando la tapa está flojamente puesta, mueva el contenedor a un área aislada, con ventilación apropiada para que el dióxido de carbono se libere. Luego de 72 horas, selle el contenedor y disponga apropiadamente del material de desecho y otro equipo contaminado (p. ej. escoba o cepillo) de acuerdo con las regulaciones federales, estado y locales existentes.

Procedimientos para Derrame Adicionales/Neutralización

Productos o mezclas que han mostrado la efectividad de las soluciones de neutralización para la descontaminación de superficies, herramientas o equipo que han estado en contacto con un isocianato incluye pero no se limita a:

·SKC, Inc. (SKC): 1-800-752-8472

- oSolución de descontaminación para isocianatos
- Spartan Chemical Company: 1-800-537-8990
 - oSpartan® ShineLine Emulsifier Plus (solución de decapado)
 - oSpartan® SC-200 limpiador para tareas pesadas
- ZEP Commercial Heavy Duty Floor Stripper
- Una mezcla de 90% agua, 10% surfactante no iónico (p. ej. Plurafac SL-62, Tergitol TMN-10)
- Una mezcla de 75% agua, 20% surfactante no iónico y 5% n-propanol
- Una mezcla de 80% agua, 10% surfactante no iónico, 5% isopropanol, 5% hidóxido de amoníaco

Para más información acerca de las soluciones de neutralización, por favor refiérase a la información disponible sobre limpieza de derrames en la página de internet de Covestro “Product Safety First”.
www.productsafetyfirst.covestro.com.

Nota: Siempre utilice el equipo de protección personal adecuado cuando se limpie un derrame de isocianato o mientras de descontamine superficies, herramientas o equipo utilizando una solución de neutralización. Puede necesitarse dos o más aplicaciones de la solución de neutralización para descontaminar la superficie. La contaminación de la superficie residual se puede comprobar utilizando el método de almohadilla de prueba de limpieza como los SKC Surface Swypes™.

7. Manipulación y almacenamiento

Precauciones para el Manejo/Almacenamiento

No respire los vapores, neblinas, o polvos. Use ventilación adecuada para mantener los niveles de diisocianatos en el aire por debajo de los límites de exposición. Use protección respiratoria si se calienta, rocía o usa el material en un espacio confinado, o se excede el límite de exposición. Las propiedades de alerta (irritación de los ojos, nariz y garganta, u olor) no son adecuadas para prevenir sobreexposición por inhalación. El material puede causar una sensibilización asmática ya sea por exposición por una sola inhalación a concentraciones relativamente altas, o por exposiciones por inhalación repetidas a concentraciones menores. Las personas con problemas pulmonares o respiratorios, o reacciones alérgicas previas a isocianatos no deben ser expuestas a vapores o neblinas de rociado. Evite el contacto con la piel y los ojos. Use protección adecuada para los ojos y la piel. Lávese muy bien después de manejar el material. No respire el humo y gases creados por el sobrecalentamiento o combustión de este material. Los productos de descomposición pueden ser altamente tóxicos e irritantes. Almacene en contenedores herméticamente cerrados para prevenir contaminación con humedad. No reselle los contenedores si se sospecha que están contaminados. Nota: El uso de solventes polares apróticos (por ejemplo, Dimetilsulfóxido (DMSO), n-metil-2-pirrolidona (NMP), N,N-Dimetilacetamida (DMAC)), en combinación con el polímero MDI / MDI puede dar como resultado la formación de bajas concentraciones de aminas aromáticas primarias tales como 4,4'-metilendianilina (MDA).

Temperatura de almacenamiento

Mínimo: 18 °C (64.4 °F)

Máximo: 30 °C (86 °F)

Condiciones de almacenamiento

La educación y capacitación del personal en el uso y manejo seguro de este producto es un requerimiento bajo el Estándar de Comunicación de Riesgos de la OSHA 29 CFR 1910.1200

Sustancias a evitar

Agua, Aminas, Bases Fuertes, Alcoholes, Aleaciones de cobre

8. Controles de exposición/ Protección personal

Las recomendaciones en esta sección no deben ser un sustituto para una evaluación del equipo de protección personal (EPI) realizada por el empleador como es requerido en el 29 CFR 1910 Subparte I.

Límites de exposición

4,4'-Diisocianato de Difenilmetano (101-68-8)

Valores Umbral Límite de la ACGIH de los EUA
Media de tiempo de carga 0.005 ppm

Tabla Z-1 de la OSHA de los EUA, Límites para Contaminantes del Aire (29 CFR 1910.1000)

Valor Límite Máximo 0.02 ppm, 0.2 mg/m³

Cualquier componente que está listado en la sección 3 y no está listado en esta sección no cuenta con un TLV de la ACGIH, PEL de la OSHA, o límite de exposición ocupacional recomendado por el proveedor.

Medidas de higiene

Debe usarse extracción local para mantener los niveles por debajo de los Límites Permitidos de Exposición (LPE) cada vez que se caliente, rocíe o aerosolice MDI. Deben consultarse fuentes de referencia estándar (p. ej. el Manual de Ventilación Industrial, de la ACGIH) como guías para la ventilación adecuada. Para asegurar que no se han excedido los límites de exposición publicados, el monitoreo de diisocianatos en el aire debe convertirse en parte integral del programa general de caracterización de exposiciones de los empleados. NIOSH, OSHA, Covestro y otros han desarrollado métodos de muestreo y analíticos. Los métodos de Covestro pueden ser puestos a disposición, bajo la correspondiente solicitud.

Protección respiratoria

Pueden presentarse concentraciones de MDI en el aire mayores a los LPE en ambientes ventilados inadecuadamente cuando se rocía, aerosoliza o calienta el MDI. En estos casos debe utilizarse protección respiratoria. El tipo de protección respiratoria seleccionado debe cumplir con los requerimientos fijados por el Estándar de Protección Respiratoria de la OSHA (29 CFR 1910.134). El tipo de protección respiratoria disponible incluye (1) un respirador con suministro de atmósfera tal como un equipo de respiración autocontenido (SCBA), o un respirador con suministro de aire (SAR), en modo de presión positiva o flujo continuo, o (2) un respirador purificador de aire (APR). Si se selecciona un APR, entonces debe desarrollarse e implantarse un programa de cambio de cartucho basado en información o datos objetivos que asegure que los cartuchos sean reemplazados antes de concluir su vida de servicio. En el procedimiento escrito para los respiradores debe describirse la base para el programa de reposición de cartuchos. Además, si se selecciona un APR, la concentración de diisocianato en el aire no debe ser mayor a 10 veces el LPE. El cartucho APR recomendado es un cartucho de filtro combinado para vapores orgánicos/partículas (OV/P100).

Protección de las manos

Asegure que los guantes de protección se mantengan en buenas condiciones durante su uso y reemplace si se observa algún deterioro.

Se deberán usar guantes., El hule de nitrilo ha mostrado una excelente resistencia., También son efectivos el hule de butilo, el neopreno y el PVC.

Protección de los ojos

Cuando se maneja directamente el producto líquido, se requiere protección de los ojos. Ejemplos de protección a los ojos incluyen un goggle de seguridad para productos químicos, o un goggle de este tipo en combinación con una pantalla para la cara completa cuando exista un mayor riesgo de una salpicadura.

Protección de la piel

Evite todo contacto con la piel. Dependiendo de las condiciones de uso, cubra la piel expuesta lo más que pueda con ropa apropiada para prevenir el contacto con la piel., Pruebas en animales y otras investigaciones

indican que el contacto de la piel con MDI puede jugar un papel en el desarrollo de sensibilización a isocianatos y reacción respiratoria., Estos datos refuerzan la necesidad de prevenir el contacto directo de la piel con isocianatos.

Vigilancia Médica

Todos los solicitantes que serán asignados a un área de trabajo con isocianatos deben ser sometidos a una evaluación médica de preubicación. Un historial de eczema o alergias respiratorias, tales como fiebre de heno son posibles razones para la exclusión médica de áreas con isocianato. Los solicitantes con un historial de asma adulto deben ser restringidos de trabajar con isocianatos. Solicitantes con un historial de sensibilizaciones previas a isocianatos deben ser excluidos de cualquier trabajo con isocianatos. Debe instituirse un programa de vigilancia médica anual completo para todos los empleados que están potencialmente expuestos a diisocianatos. Una vez que un trabajador ha sido diagnosticado como sensibilizado a cualquier isocianato, no podrá permitirse ninguna exposición posterior. Consulte el folleto de Covestro (Programa de Vigilancia Médica para Trabajadores con Isocianatos) para información adicional.

Medidas de Protección Adicionales

Deben estar disponibles regaderas de emergencia y estaciones lava ojos. Eduque y capacite al personal en el uso y manejo seguro de este producto. Siga todas las instrucciones de la etiqueta.

9. Propiedades físicas y químicas

Estado de la materia:	Líquido
Color:	Café
Olor:	terroso, mohoso
Olor umbral:	No hay datos disponibles
pH:	No aplicable
Punto de Ebullición:	> 300 °C (> 572 °F) @ 1,013 hPa (DIN 53171)
Punto de inflamación:	199 °C (390.2 °F) (ASTM D 93)
Tasa de evaporación:	No hay datos disponibles
Límites inferior de explosividad:	No hay datos disponibles
Límite de explosión, superior:	No hay datos disponibles
presión de vapor:	< 0.001 mmHg @ 20 °C (68 °F) Para el isocianato
densidad de vapor:	No hay datos disponibles
Densidad:	1.238 g/cm ³ @ 20 °C (68 °F) (DIN 51757)
Densidad relativa del vapor:	No hay datos disponibles
Gravedad Específica:	No hay datos disponibles
Solubilidad en Agua:	Insoluble - Reacciona lentamente con el agua liberando gas CO ₂
Coefficiente de reparto n-octanol/agua:	No hay datos disponibles
Temperatura de Autoignición:	> 500 °C (932 °F) (DIN 51794)
Temperatura de descomposición:	No establecido
Temperatura de Desbloqueo:	No hay datos disponibles
Viscosidad dinámica:	>= 200 mPa.s @ 20 °C (68 °F) (DIN 53019)
Viscosidad cinemática:	No hay datos disponibles
Densidad aparente:	No hay datos disponibles
Peso molecular:	No hay datos disponibles
Temperature de escurrimiento:	< 0 °C (32 °F) (ISO 3016)
Autoignición:	No aplicable

10. Estabilidad y reactividad

Reacciones Peligrosas

El contacto con humedad, otros materiales que reaccionan con isocianatos, o temperaturas superiores a los 177°C (350°F) pueden causar polimerización., La humedad (agua y humedad alta) o calor elevado (temperaturas superiores a 350 °F (177 °C)) puede causar la acumulación de presión con la posibilidad de ruptura explosiva.

Materias que deben evitarse

Agua, Aminas, Bases Fuertes, Alcoholes, Aleaciones de cobre

Productos de descomposición peligrosos

Por Fuego y Calor Intenso: Dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), humo denso negro., Isocianato, Ácido Isocianico, Otros compuestos no determinados

11. Información toxicológica

Las posibles vías de exposición: Contacto con la piel
Inhalación
Contacto con los ojos

Efectos sobre la salud y síntomas

Agudo: Los vapores o nieblas de diisocianato a concentraciones arriba del TLV o PEL pueden irritar (sensación de ardor) las membranas mucosas en las vías respiratorias (nariz, garganta, pulmones) causando escurreimiento en la nariz, garganta irritada, tos, incomodidad en el pecho, falta de aire, y función pulmonar reducida (obstrucción respiratoria). Personas con una hiperreactividad bronquial no específica preexistente pueden responder a concentraciones abajo del TLV o PEL con síntomas similares, así como un ataque de asma o síntomas parecidos al asma. La exposición muy por encima del TLV o PEL puede conducir a bronquitis, espasmo bronquial, y edema pulmonar (fluido en los pulmones). También se ha reportado neumonitis química o por hipersensibilidad, con síntomas similares a la gripe (p.ej, fiebre, escalofríos). Estos síntomas pueden demorarse hasta por varias horas después de la exposición. Estos efectos usualmente son reversibles.

Causa irritación de la piel con síntomas de enrojecimiento, comezón, e inflamación. Personas previamente sensibilizadas pueden experimentar una reacción alérgica de la piel con síntomas de enrojecimiento, comezón, e inflamación. Personas previamente sensibilizadas pueden experimentar reacciones alérgicas de la piel con síntomas de enrojecimiento, comezón, inflamación y sarpullido. El material curado es difícil de retirar.

Causa irritación de los ojos con síntomas de enrojecimiento, lagrimeo, picazón, e inflamación. Puede causar lesión temporal en la córnea. El vapor o aerosol puede causar irritación con síntomas de ardor y lagrimeo.

Puede causar irritación del tracto digestivo; los síntomas pueden incluir dolor abdominal, náusea, vómito y diarrea.

Crónico: Como resultado de sobre-exposiciones repetidas previas, o a una sola dosis grande, ciertas personas pueden desarrollar una sensibilización a isocianatos (asma o síntomas similares al asma) que puede causar que reaccionen a una exposición posterior a isocianatos a niveles muy inferiores al TLV o PEL. Estos síntomas, que pueden incluir opresión en el pecho, respiración sibilante, tos, dificultad para respirar o ataque asmático, pueden ser inmediatos o demorarse hasta por varias horas después de la exposición. Las reacciones asmáticas extremas pueden poner en riesgo la vida. De manera similar a muchas respuestas asmáticas no específicas, existen reportes que una vez sensibilizada una persona puede experimentar estos síntomas al exponerse a polvo, aire frío u otros irritantes. Esta sensibilidad pulmonar incrementada puede persistir por semanas y, en casos severos, por varios años. La

sensibilización puede ser permanente. También se ha reportado que la sobre-exposición crónica a isocianatos puede causar daño a los pulmones (incluyendo fibrosis, disminución en la función pulmonar) que puede ser permanente.,

El contacto prolongado con la piel puede causar enrojecimiento, inflamación, sarpullido, y en algunos casos, sensibilización de la piel. Ensayos con animales y otras investigaciones indican que el contacto de la piel con MDI puede jugar un papel en causar sensibilización a isocianatos y reacción respiratoria. Estos datos refuerzan la necesidad de prevenir el contacto directo de la piel con isocianatos.

El contacto prolongado de vapor con los ojos puede causar conjuntivitis.

Retrasado: Los síntomas en las vías respiratorias pueden aparecer incluso pasadas algunas horas de la exposición excesiva.

Datos de Toxicidad para: DESMODUR 44 V 20 L

Datos de toxicidad basados en MDI polimérico (una mezcla de monómeros y oligómeros de peso molecular más alto).

Toxicidad Oral Aguda

DL50: > 2,000 mg/kg (Rata, macho/hembra)

Toxicidad por Inhalación Aguda

CL50: 0.49 mg/l, 490 mg/m³, 4 h, aerosol (Rata)

La atmósfera de ensayo generada en el estudio con animales no es representativa de los ambientes en el lugar de trabajo, de cómo la sustancia es colocada en el mercado, y de cómo se puede razonablemente esperar que sea utilizada. Por lo tanto, los resultados del ensayo no pueden ser aplicados directamente para el propósito de evaluar el peligro. Basado en juicio de expertos y en el peso de la evidencia, se justifica una clasificación modificada para la toxicidad por inhalación aguda.

Toxicidad Cutánea Aguda

DL50: > 9,400 mg/kg (Conejo, macho/hembra) (Directrices de ensayo 402 del OECD)

Irritación de la piel

Conejo, Ligeramente irritante

Toxicidad de dosis repetidas

90 Days, inhalación: NOAEL: 1 mg/m³, (Rata, Macho/Hembra, 6 hrs/día 5 días/semana)

Irritación a los pulmones y cavidad nasal

2 years, inhalación: NOAEL: 0.2, (Rata, Macho/Hembra, 6 hrs/día 5 días/semana)

Irritación a los pulmones y cavidad nasal

Mutagenicidad

Toxicidad Genética in Vitro:

Ensayo de mutación de genes bacteriales: negativo (Salmonella typhimurium, Activación Metabólica: con/sin)

Carcinogenicidad

Rata, Macho/Hembra, inhalación, 2 Years, 6 hrs/día 5 días/semana

LOAEL: 6mg/l

El MDI polimérico ha sido clasificado como IARC Grupo- 3 (“No clasificable con respecto a su efecto cancerígeno en humanos”) (1999) indicando que existe evidencia inadecuada para describir el potencial cancerígeno. Estudios epidemiológicos no encontraron asociación alguna entre los isocianatos y el cáncer. En estudios de exposición crónica en roedores, el pMDI produjo tumores sólo al nivel de exposición más alto de 6 mg/m³. Este nivel de exposición es significativamente más alto que el TLV (Valor Umbral Límite

por sus siglas en inglés) para el MDI (0.051 mg/m³). Basado en el peso de la evidencia, se justifica la determinación de no clasificado por su efecto cancerígeno.

Toxicidad para el Desarrollo/Teratogenicidad

Rata, hembra, inhalación, gestación días 6-15, 6 hrs/día, NOAEL (teratogenicidad): 12 mg/m³, NOAEL (maternal): 4 mg/m³

No se observaron efectos teratogénicos a las dosis ensayadas., La fetotoxicidad sólo se vio con la toxicidad maternal.

Datos de Toxicidad para: 4,4'-Diisocianato de Difenilmetano

Tóxicidad Oral Aguda

DL50: > 7,616 mg/kg (Rata) (Directrices de ensayo 401 del OECD)

Tóxicidad por Inhalación Aguda

CL50: 0.368 mg/l, 4 h, polvo/niebla (Rata, macho) (Directrices de ensayo 403 del OECD)

La atmósfera de ensayo generada en el estudio con animales no es representativa de los ambientes en el lugar de trabajo, de cómo la sustancia es colocada en el mercado, y de cómo se puede razonablemente esperar que sea utilizada. Por lo tanto, los resultados del ensayo no pueden ser aplicados directamente para el propósito de evaluar el peligro. Basado en juicio de expertos y en el peso de la evidencia, se justifica una clasificación modificada para la toxicidad por inhalación aguda.

Tóxicidad Cutánea Aguda

DL50: > 9,400 mg/kg (Conejo, macho/hembra) (Directrices de ensayo 402 del OECD)

Estudios de un producto comparable.

Irritación de la piel

Conejo, Prueba de Draize, Ligeramente irritante

Humano, irritante

Irritación de los ojos

Conejo, Draize, Moderadamente irritante

Humano, irritante

Sensibilización

Sensibilización cutánea (ensayo local del nódulo linfático (LLNA)):: positivo (Ratón, OECD TG 429)

Sensibilización respiratoria: positivo (Conejillo de indias)

Toxicidad de dosis repetidas

90 Days, inhalación: NOAEL: 0.3 mg/m³, (Rata, Macho/Hembra, 18hrs/día, 5 días/semana)

Irritación a los pulmones y cavidad nasal

(Humano)

Irritación a los pulmones y cavidad nasal

Mutagenicidad

Toxicidad Genética in Vitro:

Ames: (Salmonella typhimurium, Activación Metabólica: con/sin)

Se reportaron resultados positivos y negativos. Se sospecha que el uso de algunos solventes que hidrolizan rápidamente los diisocianatos produjo los resultados positivos de mutagenicidad.

Toxicidad Genética in Vitro:

Ensayo de Micronúcleo: (Ratón)

negativo

Test en el micronúcleo: negativo (Rata, macho, Inhalable (periodo de exposición: 3 x 1 h/día durante 3 semanas))
negativo

Carcinogenicidad

Rata, hembra, inhalación, 2 Years, 17 hrs/día, 5 días/semana negativo

Otra Información Relevante sobre Toxicidad

Puede producir irritaciones en el sistema respiratorio.

Datos de Toxicidad para: Diisocianato de Difenilmetano Polimérico (pMDI)

Nota de Toxicidad

Vea los datos arriba para el MDI polimérico.

Datos de Toxicidad para: 2,4'-Difenilmetan Diisocianato (MDI)

Nota de Toxicidad

Vea los datos arriba para el MDI polimérico.

Carcinogenicidad:

Sin sustancias cancerígenas según se define por el IARC, NTP, y/o OSHA:

12. Información ecológica

Datos Ecológicos para: DESMODUR 44 V 20 L

Datos de ecotoxicidad basados en MDI polimérico (una mezcla de monómeros y oligómeros de peso molecular más alto).

Biodegradación

0 %, Tiempo de exposición: 28 d, es decir de no degradable

Bioacumulación

Oncorhynchus mykiss (Trucha irisada), Tiempo de exposición: 112 d, < 1 BCF
No debe bioacumularse.

Toxicidad para peces

CL0: > 1,000 mg/l (Danio rerio (pez zebra), 96 h)

CL0: > 3,000 mg/l (Oryzias latipes (Ciprinodontidae de color rojo-naranja), 96 h)

Toxicidad Aguda a Invertebrados Acuáticos

CE50: > 1,000 mg/l (Pulga de agua (Daphnia magna), 24 h)

Toxicidad a Plantas Acuáticas

NOEC: 1,640 mg/l, Punto Final: crecimiento (Algas verdes (Scenedesmus subspicatus),72 h)

Toxicidad a Microorganismos

CE50: > 100 mg/l, (Yodo activado, 3 h)

Datos Ecológicos para 4,4'-Diisocianato de Difenilmetano

Nombre del Material: DESMODUR 44 V 20 L

Número de Material: 05596408

Toxicidad para peces

CL50: > 500 mg/l (pez Zebra (Brachydanio rerio), 24 h)

Toxicidad Aguda a Invertebrados Acuáticos

CE50: > 500 mg/l (Pulga de agua (Daphnia magna), 24 h)

Datos Ecológicos para Diisocianato de Difenilmetano Polimérico (pMDI)**Información complementaria sobre la ecología**

Vea los datos arriba para el MDI polimérico.

Datos Ecológicos para 2,4'-Difenilmetan Diisocianato (MDI)**Información complementaria sobre la ecología**

Vea los datos arriba para el MDI polimérico.

13. Consideraciones relativas a la eliminación**Método de Disposición de Desechos**

La disposición de desechos debe realizarse de acuerdo a las leyes de control ambiental federal, estatal y local existentes. La incineración es el método preferido de Covestro para el desecho de producto no utilizado. Contacte y siga la guía de unas instalaciones de desecho con licencia para desechar adecuadamente el producto no utilizado o los desperdicios químicos.

Precauciones con Recipientes Vacíos

Los contenedores que estén vacíos según lo define la RCRA (40 CFR parte 261.7), pueden retener residuos de producto; siga todas las precauciones del producto. No triture, corte con soplete, suelde o caliente un contenedor vacío que anteriormente contuvo productos con isocianato, se formarán gases o vapores altamente tóxicos.

Tambores

Un método para desechar los tambores vacíos es contratando a un reacondicionador de tambores aprobado. Puede obtener un alista estado por estado de reacondicionadores de tambores con la Asociación de Empacado Industrial Reutilizable (RIPA; Reusable Industrial Packaging Association) en www.reusablepackaging.org.

Si no se envía a un reacondicionador, es importante que la empresa contactada para el desecho de los tambores sea notificada sobre los peligros asociados con los productos que contienen isocianato. Las empresas de reciclaje de metales pueden requerir que el tambor pase una descontaminación completa con un agente neutralizador antes de su desecho. Contacte a Covestro LLC para el procedimiento adecuado para neutralizar y remover residuos de producto de los tambores. Si no se reciclan, los tambores vacíos deben ser aplastados por medios mecánicos, de manera que sea imposible reutilizarlos. Consulte los reglamentos federales, estatales y locales, así como a una instalación de desecho de desperdicios con licencia para determinar la disposición adecuada de los tambores triturados.

Contenedores a granel

Algunos productos de Covestro son enviados en tanques portátiles conocidos como Monotainers®. Covestro LLC es la propietaria de estos Monotainers® y ayuda a los clientes a regresarlos a Covestro LLC cuando estén vacíos. Otros productos de Covestro pueden enviarse en contenedores a granel intermedios compuestos, referidos comúnmente como cajas de distribución. Estos contenedores son regresados al fabricante de las cajas de distribución, no a Covestro, cuando estén vacías. Se proporcionan con cada contenedor las instrucciones para el regreso de estos contenedores cuando estén vacíos.

Los contenedores a granel intermedios flexibles, referidos comúnmente como superempaques, deben triturarse cuando estén vacíos de tal manera que sea imposible reutilizarlos.

Otros contenedores

Nombre del Material: DESMODUR 44 V 20 L

Número de Material: 05596408

Para todos los demás empaques (por ejemplo, contenedores de muestra de casquillo de aluminio y cubetas de 1 y 5 galones), estos contenedores son no retornables y no deben ser reutilizados para ningún otro propósito. Remueva cualquier producto restante y almacene en un contenedor de desperdicios adecuado para su desecho adecuado. Consulte los reglamentos federales, estatales y locales, así como unas instalaciones de desecho de desperdicios con licencia para determinar la disposición adecuada de estos contenedores vacíos.

14. Información sobre el transporte

Transporte por carretera (DOT)

Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas: Other regulated substances, liquid, n.o.s. (contiene 4,4'-Diisocianato de Difenilmetano)
Clase o División de Riesgo: 9
Número UN/NA: NA3082
Grupo de embalaje: III
Etiqueta(s) de Riesgo: CLASS 9

Componentes Reglamentados RSPA/DOT:

4,4'-Diisocianato de Difenilmetano

Cantidad Reportable: 4535 kg (9998 lb)

Transporte marítimo (IMDG)

No reglamentado

Transporte aéreo (ICAO/IATA)

No reglamentado

Información Adicional de Transporte

Cuando se encuentre en contenedores individuales en cantidad menor a la CR del Producto, este material se embarca como no reglamentado.

15. Información reglamentaria

Reglamentaciones Federales de los Estados Unidos

Ley de Control de Substancias Tóxicas de los EUA: Listado en la parte activa del inventario de TSCA.

Ninguna sustancia está sujeta a los requisitos en materia de notificación de exportación TSCA 12(b).

Sustancias Peligrosas del CERCLA de la EPA de los EUA (40 CFR 302) Componentes:

4,4'-Diisocianato de Difenilmetano Cantidad Reportable 5000 lbs

SARA Sección 311/312 Categorías de Riesgo:

Consulte la información de clasificación de peligro en la Sección 2.

EE. UU. EPA Ley sobre el Planeación de Emergencias y el Derecho Comunitario a la Información (EPCRA) SARA Title III Section 302 Sustancia Sumamente Peligrosa (40 CFR355, Apéndice A)

Componentes:

None

EE. UU. EPA Ley sobre el Planeación de Emergencias y el Derecho Comunitario a la Información(EPCRA) SARA Title III Section 313 Productos Químicos Tóxicos (40 CFR 372.65) - Notificación del Proveedor Requerida Componentes:

4,4'-Diisocianato de Difenilmetano
Diisocianato de Difenilmetano Polimérico (pMDI)

Ley de Recuperación y Conservación de Recursos de la EPA de los EUA (RCRA), Lista Compuesta de Residuos Peligrosos y Componentes Peligrosos del Apéndice VIII (40 CFR 261):

Bajo RCRA, es responsabilidad de la persona que genera un residuo sólido, según se define en 40CFR 261.2, determinar si ese residuo es un residuo peligroso.

Información de Derecho a Saber de los Estados

Los siguientes productos químicos se listan específicamente por Estados individuales; otros datos específicos de salud y seguridad del producto en otras secciones de la HDS también pueden ser aplicables para requerimientos de los Estados. Para detalles sobre sus requerimientos reglamentarios deberá contactar a la agencia apropiada en su Estado.

Este producto contiene trazas (ppm) de fenilisocianato (CAS# 103-71-9) y monoclorobenceno (CAS# 108-90-7) como impurezas.

Listas de Sustancias de Derecho a Saber de Massachussets, New Jersey o Pennsylvania::

<u>Concentración</u>	<u>Componentes</u>	<u>No. CAS</u>
40 - 50%	4,4'-Diisocianato de Difenilmetano	101-68-8
30 - 40%	Diisocianato de Difenilmetano Polimérico (pMDI)	9016-87-9
15 - 25%	2,4'-Difenilmetan Diisocianato (MDI)	5873-54-1

Listas de Sustancias Ambientalmente Peligrosas, de New Jersey y/o Lista RTK Especial de Sustancias Peligrosas de New Jersey::

<u>Concentración</u>	<u>Componentes</u>	<u>No. CAS</u>
40 - 50%	4,4'-Diisocianato de Difenilmetano	101-68-8
30 - 40%	Diisocianato de Difenilmetano Polimérico (pMDI)	9016-87-9

Lista de la Propuesta 65 de California:

Ninguna.

Químicos CFATS (Estándar de Anti-terrorismo para Instalaciones Químicas)

A nuestro mejor saber y entender, este producto no contiene Químicos de Interés (COI por sus siglas en inglés) del Apéndice A, a o arriba de la Cantidad Umbral de Revisión (STQ por sus siglas en inglés), tal como se define en el Estándar de Anti-terrorismo para Instalaciones Químicas (CFATS, 6 CFR Parte 27) del Departamento de Seguridad Nacional).

Basado en información proporcionada por nuestros proveedores, este producto es considerado "DRC Conflict Free" (Libre de conflicto con la RDC), según se define en la Regla Final sobre Minerales en Conflicto, de la SEC (Publicación No. 34-67716; No. Archivo S7-40-10; Fecha: 2012-08-22).

16. Información adicional

El método de comunicación de riesgos para Covestro LLC está compuesto por etiquetas de producto y hojas de datos de seguridad. Las fichas de datos de seguridad de todos los productos y las declaraciones generales sobre los productos se pueden descargar de la página www.productsafetyfirst.covestro.com.

Contacto: Product Safety Department
Teléfono: (412) 413-2835
Fecha de la Versión: 05/06/2021
Versión de la HDS: 1.13

La información contenida en esta ficha de datos de seguridad (SDS, por sus siglas en inglés) se cree que es exacta pero se proporciona sin garantía, expresada o implícita, incluyendo garantías de comerciabilidad o aptitud para un propósito particular. La información se refiere únicamente al material específico designado aquí. Covestro LLC. asume ninguna responsabilidad legal para uso de o dependencia en la información de este SDS y esta información no debe ser considerada como parte de nuestros términos o condiciones de venta. El usuario es responsable de determinar si el producto de Covestro es adecuado para el método de uso o aplicación para el usuario. Covestro no será responsable de cualquier incumplimiento de las medidas de precaución que se describen en este SDS o por cualquier mal uso del producto.

Ficha de Datos de Seguridad
Según Reglamento (CE) 1907/2006



1953 Clorobenceno

1. Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa

1.1 Identificación de la sustancia o del preparado

Denominación:

Clorobenceno

Sinónimo: Benceno Cloruro, mono-Clorobenceno

Nº de Registro REACH: No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la sustancia o su uso están exentos del registro; según el Artículo 2 de la normativa REACH (CE) nº 1097/2006, el tonelaje anual no requiere registro, dicho registro está previsto para una fecha posterior o se trata de una mezcla.

1.2 Uso de la sustancia o preparado:

Usos: para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.

1.3 Identificación de la sociedad o empresa:

PANREAC QUIMICA S.L.U.

C/Garraf 2

Polígono Pla de la Bruguera

E-08211 Castellar del Vallès

(Barcelona) España

Tel. (+34) 937 489 400

e-mail: product.safety@panreac.com

1.4 Teléfono de emergencia:

Número único de teléfono para llamadas de urgencia: 112 (UE)

Tel.: (+34) 937 489 499

2. Identificación de los peligros

Clasificación de la sustancia o de la mezcla.

Clasificación Reglamento (CE) nº 1272/2008.

Líqu. infl. 3

Tox. ag. 4

Acuático crónico. 2

Pictogramas de peligrosidad

**Palabra de advertencia**

Atención

Indicaciones de peligro

H226 Líquidos y vapores inflamables.

H332 Nocivo en caso de inhalación.

H411 Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Consejos de prudencia

P210 Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. No fumar.

P233 Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

P240 Conectar a tierra / enlace equipotencial del recipiente y del equipo de recepción.

P241 Utilizar un material eléctrico, de ventilación o de iluminación /.../ antideflagrante.

P242 Utilizar únicamente herramientas que no produzcan chispas.

P501 Eliminar el contenido/el recipiente según Directiva 94/62/CE o 2008/98/CE.

Clasificación (67/548/CEE o 1999/45/CE).

N Peligroso para el medio ambiente

R51/53

Xn Nocivo

R20

R10

Para más información de las Frases R mencionadas en este epígrafe, vea epígrafe 16.

3. Composición/Información de los componentes

Denominación: Clorobenceno

Fórmula: C_6H_5Cl M.= 112,56 CAS [108-90-7]

Número CE (EINECS): 203-628-5

Número de índice CE: 602-033-00-1

4. Primeros auxilios**4.1 Indicaciones generales:**

En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.

4.2 Inhalación:

Trasladar a la persona al aire libre. En caso de asfixia proceder a la

respiración artificial. Aflojar las prendas de vestir para liberar las vías respiratorias.

4.3 Contacto con la piel:

Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.

4.4 Ojos:

Lavar con agua abundante (mínimo durante 15 minutos), manteniendo los párpados abiertos. Pedir atención médica.

4.5 Ingestión:

Administrar aceite de vaselina como laxante (3 ml/kg). Evitar el vómito. Riesgo de aspiración. En caso de pérdida del conocimiento colocar a la persona tumbada lateralmente. Pedir inmediatamente atención médica.

5. Medidas de lucha contra incendio

5.1 Medios de extinción adecuados:

Agua. Dióxido de carbono (CO₂). Espuma. Polvo seco.

5.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:

No se conocen

5.3 Riesgos especiales:

Combustible. Mantener alejado de fuentes de ignición. Los vapores son más pesados que el aire, por lo que pueden desplazarse a nivel del suelo. Puede formar mezclas explosivas con aire. En caso de incendio pueden formarse vapores tóxicos de HCl, COCl₂.

5.4 Equipos de protección:

Ropa y calzado adecuados.

6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones individuales:

No inhalar los vapores.

6.2 Precauciones para la protección del medio ambiente:

No permitir el paso al sistema de desagües. Evitar la contaminación del suelo, aguas y desagües.

6.3 Métodos de recogida/limpieza:

Recoger con materiales absorbentes (Absorbente General Panreac, Kieselguhr, etc.) o en su defecto arena o tierra secas y depositar en contenedores para residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes. Limpiar los restos con agua abundante.

7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Manipulación:

Sin indicaciones particulares.

7.2 Almacenamiento:

Recipientes bien cerrados. En local bien ventilado. Mantener alejado de sustancias inflamables, fuentes de ignición y calor.

8. Controles de exposición/protección personal

8.1 Medidas técnicas de protección:

Asegurar una buena ventilación y renovación de aire del local.

8.2 Control límite de exposición:

VLA-EC: 15 ppm - 70 mg/m³

VLA-ED: 5 ppm - 47 mg/m³

8.3 Protección respiratoria:

En caso de formarse vapores/aerosoles, usar equipo respiratorio adecuado. Filtro P. Filtro A.

8.4 Protección de las manos:

Usar guantes apropiados

8.5 Protección de los ojos:

Usar gafas apropiadas.

8.6 Medidas de higiene particulares:

Quitarse las ropas contaminadas. Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo. Usar equipo de protección completo.

8.7 Controles de la exposición del medio ambiente:

Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente.

9. Propiedades físicas y químicas

Aspecto: Líquido

Color: incoloro

Granulometría N/A

Olor: Característico.

pH: 7

Punto de fusión/punto de congelación -45 °C

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición: 132 °C

Punto de inflamación: 28 °C

Inflamabilidad (sólido, gas): N/A

Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad: 11 %(v) / 1,3 %(v)

Presión de vapor: 12 hPa (20 °C)

Densidad de vapor: N/A

Densidad relativa: (20/4) 1,107

Solubilidad: en Insoluble en agua

Coefficiente de reparto n-octanol/agua: N/A

Temperatura de auto-inflamación: 590 °C

Temperatura de descomposición: N/A

Viscosidad: N/A

10. Estabilidad y reactividad

10.1 Condiciones que deben evitarse:

Temperaturas elevadas.

10.2 Materias que deben evitarse:

Metales alcalinos. Metales alcalinotérreos. Agentes oxidantes fuertes.

10.3 Productos de descomposición peligrosos:

Cloruro de hidrógeno. Fosgeno.

10.4 Información complementaria:

No se conocen

11. Información toxicológica

11.1 Toxicidad aguda:

DL50 oral rat : 2.290 mg/kg

CL L0 inh rat : 9000 ppm

11.2 Efectos peligrosos para la salud:

Por inhalación: Nocivo para la salud. No se previenen perjuicios para el feto, en el supuesto de respetar los valores VLA (valores límite ambientales). Por absorción de grandes cantidades: efectos en el sistema nervioso central narcosis. Puede tener un efecto desengrasante sobre la piel, con riesgo de infección secundaria. Provoca problemas renales problemas hepáticos. No se descartan otras características peligrosas. Observar las precauciones habituales en el manejo de productos químicos.

12. Información Ecológica

12.1 Toxicidad :

12.1.1 - Test EC50 (mg/l) :

Bacterias (Photobacterium phosphoreum) 11,5 mg/l

Clasificación :

Extremadamente tóxico.

12.1.2. - Medio receptor :

Riesgo para el medio acuático

Alto

Riesgo para el medio terrestre

Alto

12.1.3. - Observaciones :

Efecto ecotóxico importante en medios acuáticos.

12.2 Persistencia y Degradabilidad :

12.2.1 - Test :

12.2.2. - Clasificación sobre degradación biótica :

DBO5/DQO

Biodegradabilidad

12.2.3. - Degradación abiótica según pH :

12.2.4. - Observaciones :

Producto de baja biodegradabilidad.

12.3 Potencial de bioacumulación :

12.3.1. - Test :

12.3.2. - Bioacumulación :

Riesgo

12.3.3. - Observaciones :

12.4 Movilidad en el suelo :

Datos no disponibles.

12.5 Valoración PBT y MPMB :

Datos no disponibles.

12.6 Otros posibles efectos sobre el medio natural :

No permitir su incorporación al suelo ni a acuíferos.

13. Consideraciones sobre la eliminación

13.1 Sustancia o preparado:

En la Unión Europea no están establecidas pautas homogéneas para la eliminación de residuos químicos, los cuales tienen carácter de residuos especiales, quedando sujetos su tratamiento y eliminación a los reglamentos internos de cada país. Por tanto, en cada caso, procede contactar con la autoridad competente, o bien con los gestores legalmente autorizados para la eliminación de residuos.

2001/573/CE: Decisión del Consejo, de 23 de julio de 2001, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE de la Comisión en lo relativo a la lista de residuos. Directiva 91/156/CEE del Consejo de 18 de marzo de 1991 por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos. En España: Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Publicada en BOE 22/04/98.

ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. Publicada en BOE 19/02/02.

13.2 Envases contaminados:

Los envases y embalajes contaminados de sustancias o preparados peligrosos, tendrán el mismo tratamiento que los propios productos contenidos.

Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases. En España: Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de envases. Publicada en BOE 25/04/97.

Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. Publicado en BOE 01/05/98.

14. Información relativa al transporte

Terrestre (ADR):

Denominación técnica: CLOROBENCENO
UN 1134 Clase: 3 PELIG.M.AMB Grupo de embalaje: III (D/E)
Marítimo (IMDG):
Denominación técnica: CLOROBENCENO
UN 1134 Clase: 3 PELIG.M.AMB Grupo de embalaje: III
Aéreo (ICAO-IATA):
Denominación técnica: Clorobenceno
UN 1134 Clase: 3 PELIG.M.AMB Grupo de embalaje: III
Instrucciones de embalaje: CAO 366 PAX 355

15. Información Reglamentaria

La ficha de datos de seguridad cumple con los requisitos del Reglamento (CE) nº 1907/2006.

16. Otras informaciones

Otras frases de precaución

P243 Tomar medidas de precaución contra descargas electrostáticas.
P261 Evitar respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol.
P271 Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado.
P273 Evitar su liberación al medio ambiente.
P280 Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.
P303+P361+P353 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo):
Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.
P304+P340 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.
P312 Llamar a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico en caso de malestar.
P370+P378 En caso de incendio: Utilizar para apagarlo.
P391 Recoger el vertido.
P403+P235 Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener en lugar fresco.

Etiquetado (65/548/CEE o 1999/45/CE)

Frases R:	R51/53 Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático. R20 Nocivo por inhalación. R10 Inflamable.
Frases S:	S61 Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad. S24/25 Evítese el contacto con los ojos y la piel.

Número y fecha de la revisión: 4 15.09.2011

Fecha de edición: 15.09.2011

Respecto a la revisión anterior, se han producido cambios en los apartados: 15

Los datos consignados en la presente Ficha de Datos de Seguridad, están

basados en nuestros actuales conocimientos, teniendo como único objeto informar sobre aspectos de seguridad y no garantizándose las propiedades y características en ella indicadas.