

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA RECUPERACIÓN DE PROPILENGLICOL DE UN SUBPRODUCTO DE REACCIÓN

Trabajo de Fin de Grado

Identificador: TFGEQ_1822_jsanchez

Alumno: Julio Sánchez García

Tutor: Javier Hernández Torres

Grado: Ingeniería Química

Tarragona, 11 de junio de 2018

Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.
Autorització pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química

TÍTOL DEL TFGEQ: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
RECUPERACIÓN DE PROPILÉNGLICO DE UN SUB-
PRODUCTO DE REACCIÓN

AUTOR: JULIO MANUEL SANCHEZ GARCIA

CURS ACADÈMIC: 2017/2018

VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC

En/Na JAVIER HERNÁNDEZ TORRES, en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera el TFGEQ

APTÉ, i en conseqüència dona el seu vist i plau per a la defensa

NO APTÉ per a ser defensat pels motius exposats a continuació

Signatura:

Data:

08/06/18

DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT

En/Na JAVIER HERNÁNDEZ TORRES, 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 CLARIANT IBÉRICA PRODUCCIÓN, S.A.

(*) Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció

Signatura:

Data:

08/06/18

RESUMEN EJECUTIVO

La Empresa Clariant Ibérica tiene actualmente unos residuos de 500 t/año compuestos por propilenglicol y metanol que está incinerando con un coste asociado de 500000 €. Con esto en mente, se quiere construir una planta anexa a las instalaciones que sea capaz de separar este residuo y convertirlo en disolventes capaces de reutilizarse.

De la cantidad inicial, se han conseguido recuperar 204.9 (88% de la fracción inicial) de propilenglicol y 105.6 de metanol (47.8% de la fracción inicial), ambos con pureza 99.5% wt.

Se ha llevado a cabo todo el planteamiento y diseño preliminar de la planta, estableciendo un esquema de separación formado por un filtro de velas, una columna de destilación empacada e intercambiadores de calor intermedios. En el cuerpo del informe toda esta información se adjunta en forma de diagramas (*BFD*, *PFD*, *P&iD*, *Layout*, etc.) y se describen los métodos utilizados en el diseño de cada uno de los equipos considerados.

Todos los balances del proceso y los equipos se han llevado a cabo con diferentes simuladores de cálculo (*AspenPlus*, *EDR*, *BatchModeler*) Además, se describe todo el proceso junto con los procedimientos operativos y de control en los diferentes manuales, adjuntando finalmente estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos.

Se han diseñado todos los equipos priorizando la seguridad intrínseca de la planta, motivo por el cual se han implementado de manera conjunta las metodologías *HazOp* y la clasificación de zonas ATEX dentro de la planta. Adicionalmente se ha diseñado el depósito de almacenamiento del producto principal a recuperar que es el propilenglicol.

Por último, se ha realizado un estudio comparativo a nivel de inversión económica y un análisis de sensibilidad para concretar la viabilidad de invertir en el proyecto para un horizonte temporal de 10 años. Se determina a raíz de dicho estudio que el VAN del proyecto, considerando el ahorro que implica dejar de incinerar todo el producto, equivale a 2.42 M€, con una TIR del 84.7% y un período *Payback* (recuperación de la inversión) de 2 años.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	Introducción	7
1.1	Agradecimientos	8
2	Etapa Preliminar	9
2.1	Alcance del proyecto	9
2.2	Objetivos del proyecto.....	10
2.3	Antecedentes históricos	11
2.4	Propuesta actual y estudio de alternativas	11
2.5	Planificación del proyecto	12
2.5.1	Diagrama Gantt del proyecto.....	12
3	Bases de Diseño	14
3.1	Substancias involucradas y proceso	14
3.2	Especificaciones de alimentación.....	15
3.3	Especificaciones de producto	15
3.4	Capacidad operativa	15
3.5	Normas y códigos de diseño.....	16
3.6	Listado de servicios disponibles.....	16
3.7	Localización	17
4	Ingeniería Básica.....	18
4.1	Diagramas.....	18
4.2	Diseño y listado de tuberías.....	27
4.2.1	Selección del material de las tuberías.....	27
4.2.2	Cálculo del diámetro nominal de las tuberías.....	27
4.2.3	Cálculo del espesor y el diámetro interno de tubería	27
4.2.4	Cálculo de la pérdida de carga lineal.....	28
4.2.5	Cálculo del grosor de aislante.....	31
4.2.6	Cálculo de bombas	32
4.2.6.1	Determinación de la potencia requerida	32
4.2.6.2	Valoración de la cavitación	33
4.2.6.3	Selección de bomba y determinación de potencia real y eficiencia	33
4.2.6.4	Hoja de especificación: P505.01A/B.....	36
4.2.6.5	Hoja de especificación: P515.01A/B.....	37
4.3	Diseño y listado de instrumentos.....	38
4.3.1	Válvulas de control.....	38
4.3.1.1	Hojas de especificación: SV515.01 y SV515.03.....	40
4.3.1.2	Hojas de especificación: SV515.04 y SV515.05.....	41

4.3.2	Selección de purgadores	42
4.3.2.1	Hoja de especificación: TR505.01	43
4.3.2.2	Hoja de especificación: TR515.01	44
4.4	Diseño del sistema de control.....	50
4.4.1	Bloque/Lazo 505	50
4.4.2	Bloque/Lazo 515	50
4.4.3	Bloque/Lazo 251	51
4.5	Diseño de equipos.....	54
4.5.1	<i>Candle Filter</i> CF-505	55
4.5.1.1	Hoja de especificación: CF-505	56
4.5.2	Intercambiadores de calor.....	57
4.5.2.1	Intercambiador HX-505.....	57
4.5.2.2	Intercambiador HX-515.....	57
4.5.2.3	Condensador COND-515	58
4.5.2.4	Hoja de especificación: HX-505	59
4.5.2.5	Hoja de especificación: HX-515	60
4.5.2.6	Hoja de especificación: COND-515.....	61
4.5.3	Columna de destilación de metanol D515.....	62
4.5.3.1	Fundamentos teóricos y consideraciones	62
4.5.3.2	Aproximación en estado estacionario.....	64
4.5.3.3	Balance de materia Batch	66
4.5.3.4	Hidrodinámica de la columna.....	69
4.5.3.5	Cálculo de la altura equivalente de plato HETP.....	70
4.5.3.6	Hoja de especificación: B-515.....	72
4.5.3.7	Hoja de especificación: D-515	73
4.5.4	Depósito de almacenamiento de MPG B-251	74
4.5.4.1	Especificaciones de T y P de diseño.....	74
4.5.4.2	Cálculo del espesor del depósito	74
4.5.4.3	Virolas, fondo y techo	75
4.5.4.4	Peso del tanque	75
4.5.4.5	Hoja de especificación: B-251.....	76
5	Seguridad.....	77
5.1	Zonas ATEX.....	77
5.1.1	Consideraciones técnicas.....	77
5.1.2	Clasificación de zonas	77
5.2	Estudio HAZOP (Columna D515)	79
5.3	Equipos de seguridad.....	86

5.3.1.1	Hojas de especificación: PSV505.01 y PSV515.01	88
5.3.1.2	Hojas de especificación: PSV515.02 y PSV515.03	89
6	Manuales.....	90
6.1	Manual de operación	90
6.1.1	Pasos previos al inicio del ciclo.....	90
6.1.2	Carga del filtro.....	90
6.1.3	Pre-capa del filtro	90
6.1.4	Filtrado	91
6.1.5	Carga del reactor.....	91
6.1.6	Destilación.....	91
6.1.7	Enfriamiento MPG	92
6.1.8	Análisis de muestras y descarga de productos	92
6.2	Manual de mantenimiento	93
6.2.1	Mantenimiento general de las instalaciones	93
7	Evaluación Económica	96
7.1	Costes fijos	96
7.2	Costes variables	99
7.2.1	Costes de producción.....	99
7.2.2	Costes derivados de las <i>utilities</i>	99
7.2.3	Costes derivados de operación	99
7.3	Cuenta de resultados	100
7.4	Análisis de sensibilidad	101
8	Conclusiones	103
9	Bibliografía	104
A	Fichas de Seguridad.....	106
B	Hidrodinámica de la columna D-515	140
C	Especificaciones Cellite® y FiberGlass ®.....	145

1 INTRODUCCIÓN

La planta HTMPP¹ de la Empresa Clariant Ibérica genera un residuo del orden de 500 toneladas al año en una de las muchas reacciones de transesterificación² que se llevan a cabo en la producción de poliésteres. Estos residuos son una mezcla de metanol (MeOH), monopropilenglicol (MPG o propilenglicol), dimetiltereftalato (DMT) y trazas de agua esporádicas. A pesar de que tanto el metanol como el propilenglicol tienen diversos usos a nivel industrial, dicho residuo está siendo actualmente incinerado, lo cual conlleva unas pérdidas de medio millón de euros anuales.

Para poder afrontar esta pérdida económica y aprovechar el residuo anteriormente mencionado, se lleva a cabo en este proyecto un diseño conceptual de unas instalaciones anejas a la planta HTMPP, que sean capaces de separar los componentes más importantes del residuo (metanol y propilenglicol), evaluando el potencial económico que supondría la inversión a largo plazo.

Tabla 1.1. Identificación del proyecto.

Título	<i>Diseño de una planta para la recuperación de Propilenglicol de un subproducto de reacción</i>
Identificador	TFGEQ_1822
Autor	Julio Manuel Sánchez García
Tutor	Javier Hernández Torres
Fecha y lugar	11/06/18, Tarragona

¹ HTMPP: *High Temperature Multi-Purpose Plant*

² La transesterificación es un tipo de reacción en la cual se intercambian los grupos alcoxi (RO⁻) de un alcohol.

1.1 Agradecimientos

Quiero agradecerle la realización de este proyecto a muchas personas especiales para mí. Todas estas personas han contribuido, personal, profesional, directa o indirectamente en la realización de este proyecto, y sin ellas éste no habría sido posible.

“A mi madre, que me quiere más de lo que me quiero a mí mismo y nunca duda de mí.”

“A Yanis y a Christophe por guiarme en la carrera: Yanis por estar loco (¡para bien!) y a Christophe por ser mi primer (buen) jefe.

“A Marc y a Lidia, por nuestros intentos de arreglar el mundo entre cervezas...”

“A todos mis equipos de proyecto integrado:

El de primero, por darme la motivación que necesitaba para ser líder (¡lo siento!)

El de segundo, por acompañarme a pesar de no ser el mejor líder (¡Messer está amañado!)

El de tercero, por aceptarme y salir adelante entre todos (¡siempre seremos los tontitos!)

El equipo de formación y mis niñas de 2º, por ayudarme a reflejar sobre mí mismo y cerrar el ciclo de una manera muy especial...”

“A Javier, por ser un pozo de sabiduría y ayudarme incondicionalmente como tutor.”

“Y... a todos los que me aguantáis con mis virtudes y defectos cada día.”

2 ETAPA PRELIMINAR

2.1 Alcance del proyecto

Tabla 2.1. *Project Charter*

Ítem	Descripción
Alcance	Recuperación de, al menos, un 85% del propilenglicol residual de los reactores de la planta HTMPP de Clariant.
	<i>In scope</i> Documentar todo el proyecto en formato de memoria, siguiendo el formato y estándar de calidad de la ETSEQ ³ respecto a los TFG ⁴ . La memoria debe contener al menos los paquetes: bases de diseño, ingeniería básica, seguridad, manuales y evaluación económica.
	Recuperación de un porcentaje razonable de metanol subproducto ⁵ .
	<i>Out of scope</i> Diseñar el sistema de tratamiento de gases necesario para el tratamiento de posibles escapes de metanol. Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales. Configurar la logística y el transporte del producto. Realizar un análisis de ciclo de vida (ACV) ⁵ .
Cliente	Javier Hernández Torres como director del proyecto y el tribunal de evaluación y defensa de TFGs de la ETSEQ.
Necesidades	Se requiere una propuesta de diseño conceptual de una planta auxiliar para llevar a cabo la recuperación del propilenglicol. La planta debe incluir las operaciones de pretratamiento, separación y almacenaje de los productos. Se sobredimensionará para 750 t/año en equipos grandes.
Requisitos⁶	La especificación de riqueza del propilenglicol será > 99.5% wt (grado técnico). Esto también aplica para el posible metanol recuperado. A pesar de que las normas de diseño y nomenclaturas utilizadas en Clariant, siempre y cuando sea posible.
Entregables	Memoria del propio TFG. Informes intermedios pactados con el tutor o requeridos por la ETSEQ. Documentos necesarios de cara a incluir el TFG en el repositorio de la URV una vez éste haya sido aprobado.

³ **ETSEQ:** *Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química.*

⁴ **TFG:** Trabajo de Fin de Grado.

⁵ A diferencia del resto de ítems, que se decidieron al iniciar el proyecto, la recuperación de metanol y la realización de ACV se incluyeron y excluyeron respectivamente en una etapa más avanzada del proyecto, en función de los resultados obtenidos en la simulación y el tiempo disponible para finalizar el proyecto.

⁶ Ver apartado 3. "Bases de Diseño" para consultar las especificaciones concretas y códigos utilizados.

2.2 Objetivos del proyecto

El objetivo global del proyecto es crear una propuesta de diseño de una planta auxiliar que sea capaz de separar y recuperar el propilenglicol residual de la planta HTMPP, dando respuesta a la necesidad de aprovechar los componentes de dicha corriente residual.

Más concretamente, este objetivo se define por otros más pequeños (*milestones*), que irán asociados a un tipo de tarea o entregable. En la Tabla 2.2 se agrupan dichos hitos o *milestones*.

Tabla 2.2. Hitos o *milestones* del proyecto.

Milestones	Definición	Resultado
Programación temporal	Plasmar en un diagrama de Gantt la planificación de todas las tareas del proyecto.	Diagrama de Gantt
Diagramas conceptuales	Confeccionar un PFD preliminar junto con sus balances, apoyado en criterios heurísticos.	PFD y balances iniciales
Operaciones unitarias	Diseño del sistema de operaciones unitarias y equipos preliminares.	P&iD y diseño de equipos preliminares
Diseño de tuberías	Cálculo y diseño de todas las tuberías del proceso teniendo en cuenta diferentes parámetros.	Bandeja de tuberías
Aislamiento térmico	Cálculo de aislamiento térmico de las tuberías.	Bandeja de tuberías con aislamiento térmico
Purgadores	Selección y estudio de purgadores.	Listado de purgadores
Equipos de seguridad	Incluir equipos de seguridad para reducir el riesgo de la planta.	Diseño de los equipos inherentemente seguro
Instrumentación y control	Propuesta de control de la planta, junto con el diseño de la instrumentación correspondiente.	P&iD final, listado de elementos de control
Simulación de operación	Realizar una simulación del proceso en software <i>AspenPlus</i> que converja.	Resultado de las simulaciones, diseño de equipos y balances finales
Análisis de riesgo	Realizar un estudio HazOp sobre el proceso. También realizar un estudio ATEX para la planta debido a la presencia de metanol.	Documentos estudio de seguridad (HazOp y ATEX)
Mantenimiento	Establecer tareas básicas de mantenimiento de la instalación.	Manual de mantenimiento
Operaciones de red	Especificar procedimientos operativos.	Manual de operaciones
Viabilidad económica	Realizar un estudio de viabilidad económica incluyendo cálculo de costes, VAN, TIR, ROI y sensibilidad de resultados.	Respuesta a la pregunta: “¿es rentable la planta?”
Documentación TFG	Preparar todos los documentos necesarios para la defensa del TFG, recopilando de los apartados anteriores.	Memoria del TFG

2.3 Antecedentes históricos

Las reacciones de transesterificación necesarias para obtener poliésteres requieren un exceso de MPG y DMT, que hasta ahora se iban almacenando en unos pequeños depósitos contiguos a los reactores *Batch* de la planta, siendo finalmente incinerados. No obstante, con los años, las pérdidas económicas derivadas han ido ascendiendo hasta el medio millón de euros, por lo que se ha identificado esta etapa del proceso como un *bottleneck* crítico en planta.

También es importante tener en cuenta la tendencia actual de producción de metanol en la planta HTMPP. Desde el 2010, que fue cuando se empezó a incorporar la nueva gama de productos de metanol se ha ido incrementando la demanda de éste, y se prevé que dicha producción tendrá un pico en 2018, ya que se planea instalar un nuevo reactor de poliésteres que también generará metanol. Por esto, se tenderá a sobredimensionar, ya que se espera que la capacidad máxima de metanol que podrá soportar la planta será de alrededor de 750 t/año.

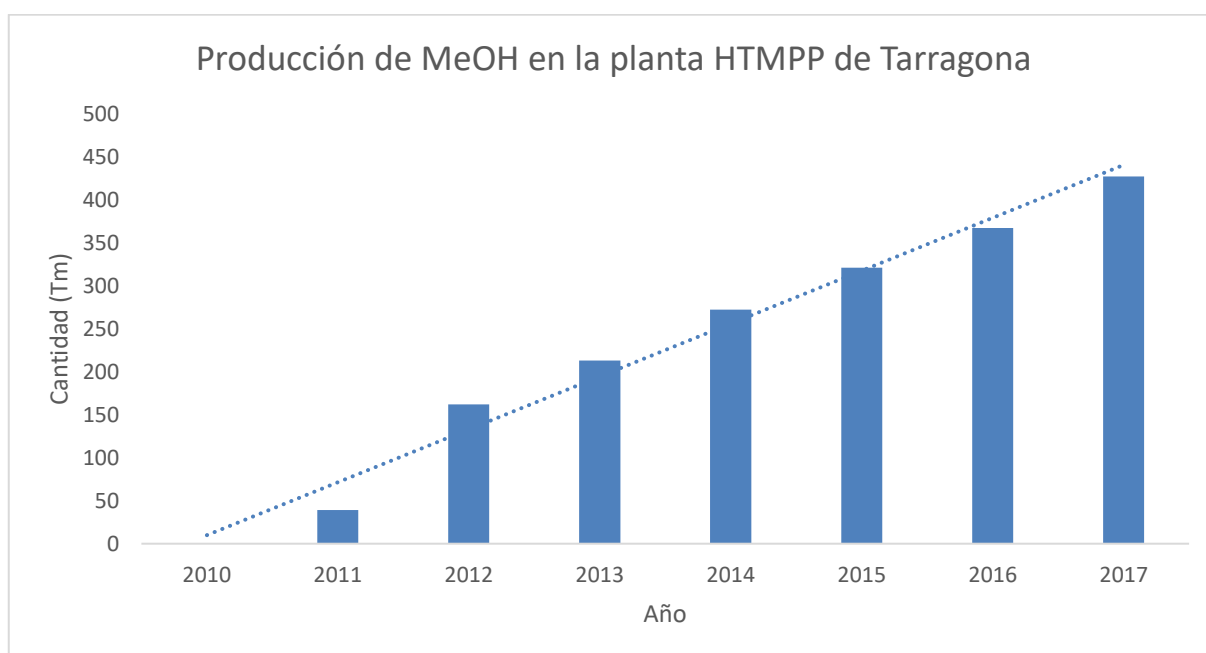


Figura 2.1. Tendencia del metanol producido en la planta HTMPP de 2010 a 2017.

2.4 Propuesta actual y estudio de alternativas

La propuesta actual para el sistema de tratamiento y separaciones es simple⁷: se elimina el DMT de la mezcla inicial con un *candle filter*⁸ y después se separa con la pureza deseada el MeOH y MPG utilizando una columna empacada⁹ que opera a presión atmosférica o inferior.

La elección de un sistema de destilación para separar el metanol es simple: la diferencia de puntos de ebullición entre el metanol y el propilenglicol (65°C vs. 189°C a presión atmosférica) es extremadamente grande, lo cual facilita mucho la separación. Además, no existe ningún tipo de azeótropo que dificulte la destilación en el equilibrio MeOH - MPG - Agua. Finalmente, las columnas de destilación son equipos que se amortizan extremadamente bien ya que es una tecnología ampliamente utilizada y por tanto de muy accesible precio (ref. 1).

⁷ Para más información sobre el sistema de separación, consultar el BFD y el PFD (apartados 4.1.1 y 4.1.2).

⁸ Para más información sobre el *candle filter* CF 505 y su diseño, consultar el apartado 4.5.1.

⁹ Para más información sobre la columna de destilación D515 y su diseño, consultar el apartado 4.5.3.

No obstante, la elección del tipo de filtro a utilizar no es tan clara. Existen diferentes gamas en el mercado capaces de eliminar los restos de DMT que requiere el proceso. El tipo de filtro se ha escogido en base al resultado obtenido de un estudio AHP¹⁰ (ref. 2). En este estudio se han comparado cuatro sistemas diferentes de filtrado: Centrífuga, Hojas, Fundabac o *Candle* y Cartucho. En función de 6 criterios diferentes se han asignado puntuaciones del 1 al 9 (siendo 1 la peor y 9 la mejor). Las puntuaciones se adjuntan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Matriz AHP comparativa, selección de filtro. Izda: Valor absoluto. Dcha:

Criterio	Centrífuga		Filtro hojas		Fundabac		Cartucho	
Tecnología probada	3	33%	9	100%	9	100%	7	78%
Hábito de uso	3	33%	3	33%	9	100%	3	33%
Coste inicial	1	11%	8	89%	4	44%	7	78%
Mantenimiento	2	22%	6	67%	9	100%	6	67%
Eficacia de filtrado	9	100%	8	89%	8	89%	9	100%
Tratamiento residuos	9	100%	3	33%	3	33%	3	33%
Promedio	4.5	50%	6.17	69%	7.00	78%	5.83	65%

Se puede apreciar que en base a la bibliografía consultada (refs. 3, 4), la opción que tiene tanto la mayor puntuación global y por apartados es el filtro Fundabac.

2.5 Planificación del proyecto

Fecha de inicio del proyecto: 10 de octubre de 2017.

Fecha de finalización del proyecto: 1 de junio de 2018.

Se han fijado diferentes *deadlines* del proyecto sobre las cuales se han programado las tareas:

Domingo, 26 de noviembre de 2017: 1ª entrega preliminar (realizado en Oficina Técnica).

Martes, 12 de diciembre de 2017: 2ª entrega preliminar (realizado en Oficina Técnica).

Sábado, 31 de marzo de 2018: entrega de la simulación definitiva del proceso.

Lunes, 4 de junio de 2018: entrega de la memoria de defensa del TFG al tutor.

Lunes, 11 de junio de 2018: entrega de la memoria de defensa del TFG en el espacio Moodle.

20, 21 ó 22 de junio de 2018 (a concretar): defensa oral de la memoria del TFG.

En la Figura 2.2 se plasma la programación prevista de las actividades que conforman el proyecto en forma de diagrama de Gantt, creado mediante el *software Gantt Project*.

Cabe destacar que, a pesar de la buena concreción de las tareas durante el primer cuatrimestre, la falta de experiencia/información sobre los ítems a entregar en el segundo cuatrimestre ha causado retrasos notorios, especialmente durante el período de marzo-mayo.

Finalmente, cabe destacar que el alcance global del proyecto ha resultado ser demasiado para una persona; el consenso entre el tutor y alumno es que se podría haber alcanzado un grado de detalle muy superior con dos personas asignadas para este proyecto.

2.5.1 Diagrama Gantt del proyecto

Ver página siguiente.

¹⁰ **AHP:** *Analytic Hierarchy Process*

Diseño de una planta para la recuperación de propilenglicol de un subproducto de reacción

Diagrama de Gantt

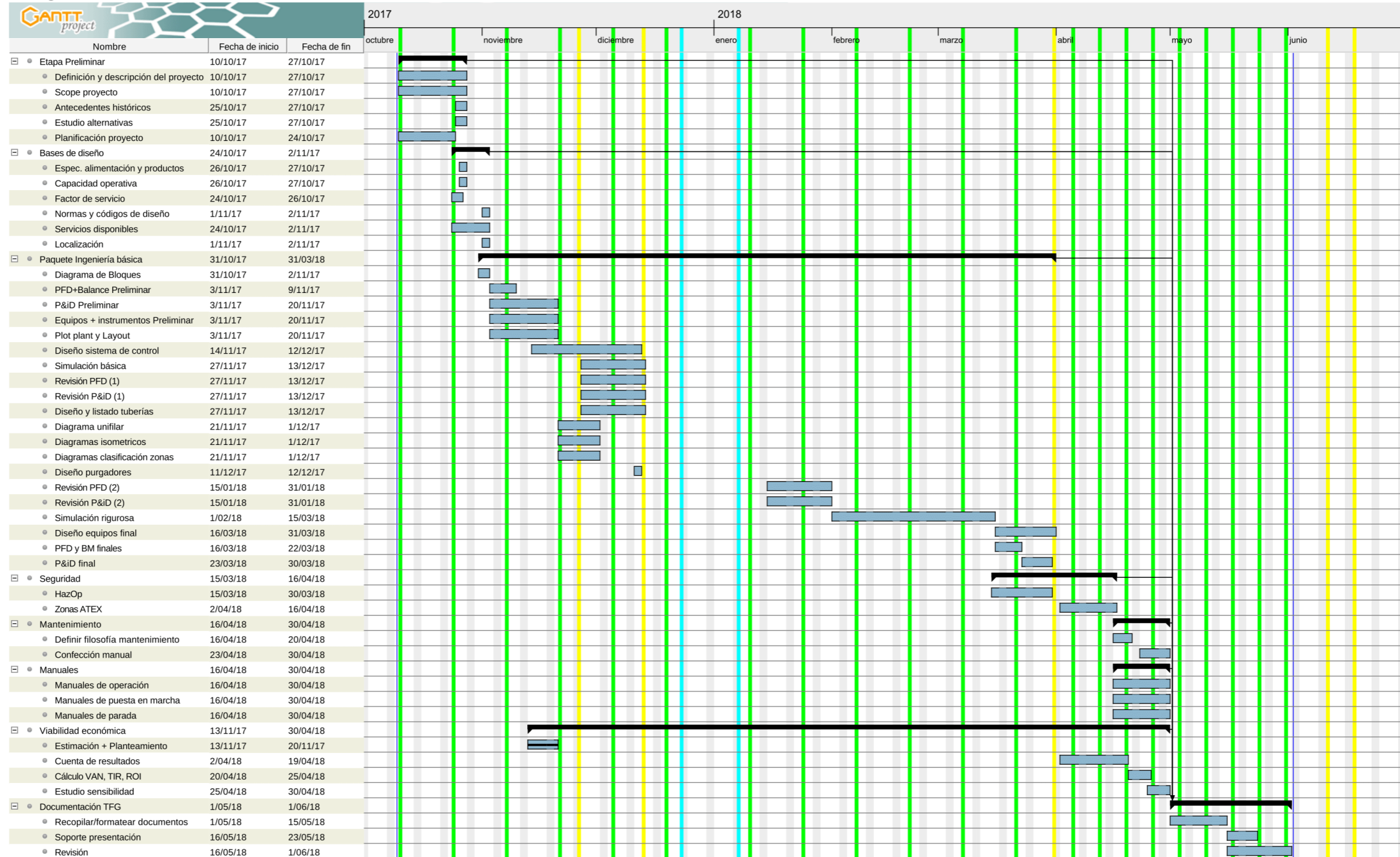


Figura 2.2. Diagrama de Gantt del proyecto.

3 BASES DE DISEÑO

3.1 Substancias involucradas y proceso

A continuación se adjuntan a modo de resumen las características de las sustancias involucradas en el proyecto (a excepción del agua). Para consultar las correspondientes fichas de seguridad, visitar el Anexo A. Para una descripción detallada del esquema del proceso, visitar el apartado 6.1. Manual de operación.

Tabla 3.1. Características de las sustancias involucradas en el proceso.

Sustancia	Propilenglicol	Dimetilo Tereftalato	Metanol
Aspecto	Líquido	Escamas (sólido)	Líquido
Olor	Inodoro	N.D.	Alcohol
Color	Incoloro	Blanco	Incoloro
n° Cas	57-55-6	126-30-7	67-56-1
Formula Química	C ₃ H ₈ O ₂	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	CH ₄ O
Peso molecular (g/mol)	76.09	194.16	32.04
Punto de fusión (°C)	-60	141	-94
Punto de ebullición (°C)	189	284	65
Punto de inflamación (°C)	98.9	151	10
Lím Inf./Sup. Explosividad (%v/v)	2.6-12.6	1.8-N.D.	5.5-44
Indicaciones de peligro H	H319	N.D.	H225-H301-H311- H331-H370
Presión de vapor	0.07 mmHg (20°C)	<1.00 hPa (20°C)	128 mbar (20°C) 200 mbar (30°C) 535 mbar (50°C)
Densidad de vapor (aire: 1)	2.62	N.D.	1.11
Densidad habitual (g/cm ³)	1.036 (20°C)	1.35 (20°C)	0.7961 (20°C)
Hidrosolubilidad (g/L)	100	0.031	Completamente soluble
Coefficiente de reparto	-	Log Pow: 2.4	N.D.
Descomposición	-	< 400°C	Destilable a presión normal sin sufrir descomposición

3.2 Especificaciones de alimentación

Las especificaciones definidas para la alimentación se adjuntan en la Tabla 3.2. Estas se utilizarán de cara al diseño de equipos y la resolución del balance de materia.

Tabla 3.2. Especificaciones de alimentación.

Cantidad destilado	Composición de la mezcla (peso)		Temperatura	Presión
500 toneladas/año	MPG: 46% wt DMT: 5% wt	MeOH: 44% wt Agua: 5% wt	25 °C	3 bar g

NOTA: la composición de la mezcla es relativa, teniendo cada sustancia los siguientes rangos de proporción: MPG 46,0 – 50,0 | MeOH 43,0 – 47,0 | DMT 4,8 – 5,2 | Agua 0,0 – 5,0. Se ha escogido el *worst case* que implica la menor cantidad de MPG disponible como producto principal y la mayor cantidad posible de trazas de agua.

3.3 Especificaciones de producto

Las especificaciones definidas para los productos se adjuntan en la Tabla 3.3. Estas se utilizarán de cara al diseño de equipos y la resolución del balance de materia.

Tabla 3.3. Especificaciones de producto.

Producto principal: Propilenglicol		Producto secundario: Metanol	
Pureza (% wt):	99.5; grado técnico	Pureza (% wt):	99.5; grado técnico
% recuperación:	≥ 85%	% recuperación:	≥ 50%
¿Almacenamiento?	Sí; se diseñará para ello un tanque apropiado	¿Almacenamiento?	No; se enviará por tubería a envasado

3.4 Capacidad operativa

La planta operará en forma de *batch*, ya que la cantidad de 500 toneladas no se considera suficiente como para plantear una planta en continuo. La capacidad operativa de la planta para el proceso de separación de destilados se ha fijado en 75 días. En estos 75 días, la planta operará por lotes de 24 horas, lo cual equivale a 6.66 toneladas/lote. No obstante, cabe destacar que esta planta será multiusos, y por lo tanto el resto de días del año seguirá operando con otras materias primas y procesos relacionados de HTMPP. Por este motivo, el factor de servicios final se ha fijado con un valor estándar de 90.4% (330 días al año).

Cada una de las partes del proceso llevado a cabo tiene asignado un tiempo de ciclo de *Batch*. Partiendo de que el tiempo de un *batch* se fija en 24 h., el resto de tiempos de ciclo¹¹ son:

1. Carga filtro	½ h	5. Destilación	12 h
2. Pre-capa filtro	1 ½ h	6. Enfriamiento MPG	2 h
3. Filtrado	1 h	7. Análisis/margen	4 h
4. Carga Reactor	2 h	8. Descarga productos	1 h

De cara al diseño y cálculo de equipos, los tiempos que dura cada ciclo son clave, ya que en función de estos tiempos varían los caudales que trata la planta. Los caudales “reales” que se calculan teniendo en cuenta este tiempo de ciclo vienen dados por la expresión:

$$Q_{real} \left[\frac{kg}{h} \right] = \frac{\text{toneladas}}{\text{lote}} \cdot \frac{1000}{t_{ciclo}} \quad (\text{E.3.1})$$

¹¹ En el apartado 4.1.2 (PFD) se explica con más detalle a qué corrientes afectan los diferentes tiempos de ciclo.

3.5 Normas y códigos de diseño

En la Tabla 3.4 se recogen todos los códigos y normativas utilizados para el dimensionamiento y diseño de equipos, líneas y accesorios del proyecto.

Tabla 3.4. Códigos y normativas de diseño utilizados.

Código	Utilizado para:
API 650	Diseño del tanque B-251.
DIN 10628	Confeción de los diagramas de flujo e instrumentación.
DIN 2401	Nomenclatura de líneas.
Normativa TEMA	Criterios heurísticos sobre intercambiadores.
ANSI/ISA-75.01.01:2012	Dimensionamiento de válvulas reguladoras.
IEC 60354	Determinación del factor F_L
NTP 238	Realización de estudio HazOp.

3.6 Listado de servicios disponibles

Los servicios disponibles actualmente en la planta de Clariant son:

Tabla 3.5. Servicios de planta.

Servicio	Abreviatura	Características	Notas
Nitrógeno	N ₂	10 ó 6 bar g	Usado principalmente para inertizar equipos.
Aire de instrumentación	Aire-I	-	-
Vapor de alta presión	HP-Steam	15 bar g	Todo el vapor se genera en caldera a 15 bar g y más tarde se expande si es necesario.
Vapor de media presión	MP-Steam	6 bar g	
Vapor de baja presión	LP-Steam	3 bar g	
Agua de refrigeración	CoolW	25 °C	Agua de refrigeración estándar. Se renueva en la torre de refrigeración.
Agua glicolada	GlyW	5°C; 40% Etilenglicol, 60% Agua	Agua glicolada; se utiliza cuando es necesario controlar el perfil de T mejor. Se renueva en el compresor frigorífico.
Electricidad	-	Tarifa: 0.0923 €/kWh	Necesaria para el funcionamiento de las luminarias, el agitador y las bombas.
Líquido barrera	LiqBarr	-	Se utilizará Propilenglicol

3.7 Localización

Tabla 3.6. Datos de localización de Clariant.

Datos del complejo			
Nombre del complejo	CLARIANT IBÉRICA PRODUCCIÓN		
Dirección	Autovía Tarragona - Salou Km 3,8		
Código postal	43110		
Provincia y municipio	La Canonja, Tarragona		
Longitud / Latitud	1,173995 / 41,099152		
CNAE - 2009	20.14–Fabricación de otros productos básicos de química orgánica.		
Datos Atmosféricos - Complejo Educativo Tarragona			
Estabilidad <i>Pasquill</i>	D (día)	F (noche)	D (general)
Velocidad viento (m/s)	4,05	1,46	2,82
Orientación viento	Oeste	Norte	Oeste
Cota de medida	10 m		
Valor de rugosidad	1 m – Pequeños obstáculos		

A continuación, se adjunta una figura de localización.



Figura 3.1. *Plot Plant* de CLARIANT IBÉRICA. Límites de establecimiento en rojo.

4 INGENIERÍA BÁSICA

En este apartado se describe todo lo referente al área de ingeniería básica: desde la simulación del proceso y la resolución de los balances pertinentes, hasta todos los diagramas, diseños y especificaciones realizadas para los equipos del proceso.

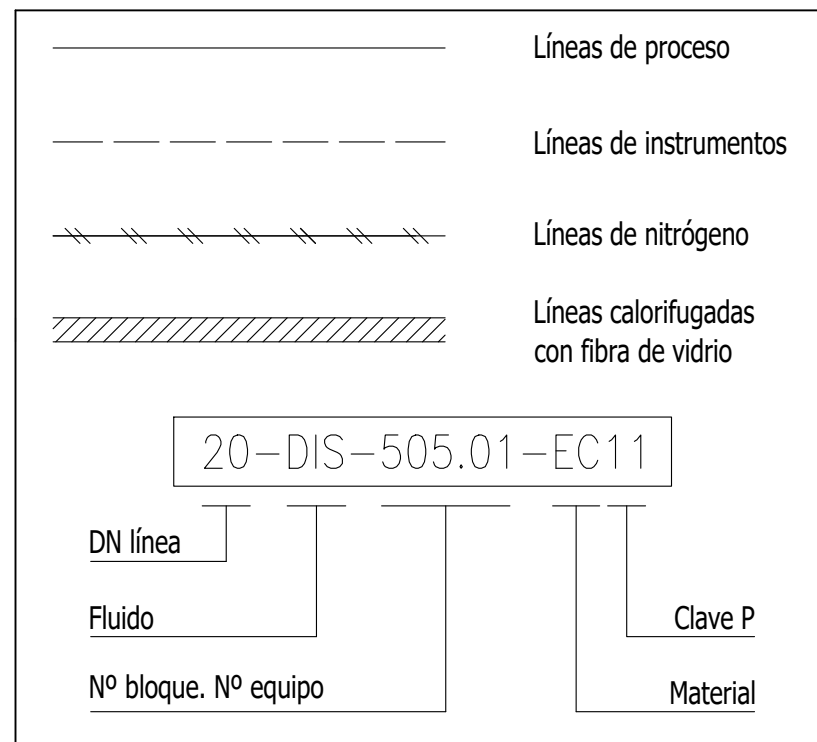
4.1 Diagramas

A continuación se adjuntan las referencias de los diagramas del proyecto.

4.1.1 Diagrama de Bloques	Pág 19
4.1.2 <i>Process Flow Diagram (PFD)</i>	Pág 20
4.1.3 <i>Piping & Instrumentation Diagram (P&iD)</i>	Págs 21-23
4.1.4 <i>Layout de la planta</i>	Pág 24
4.1.5 Plano de implantación	Pág 25
4.1.6 Diagrama de clasificación de zonas ATEX¹²	Pág 26

¹² La determinación de extensiones y clasificación de zonas ATEX se lleva a cabo en el apartado 5.1.

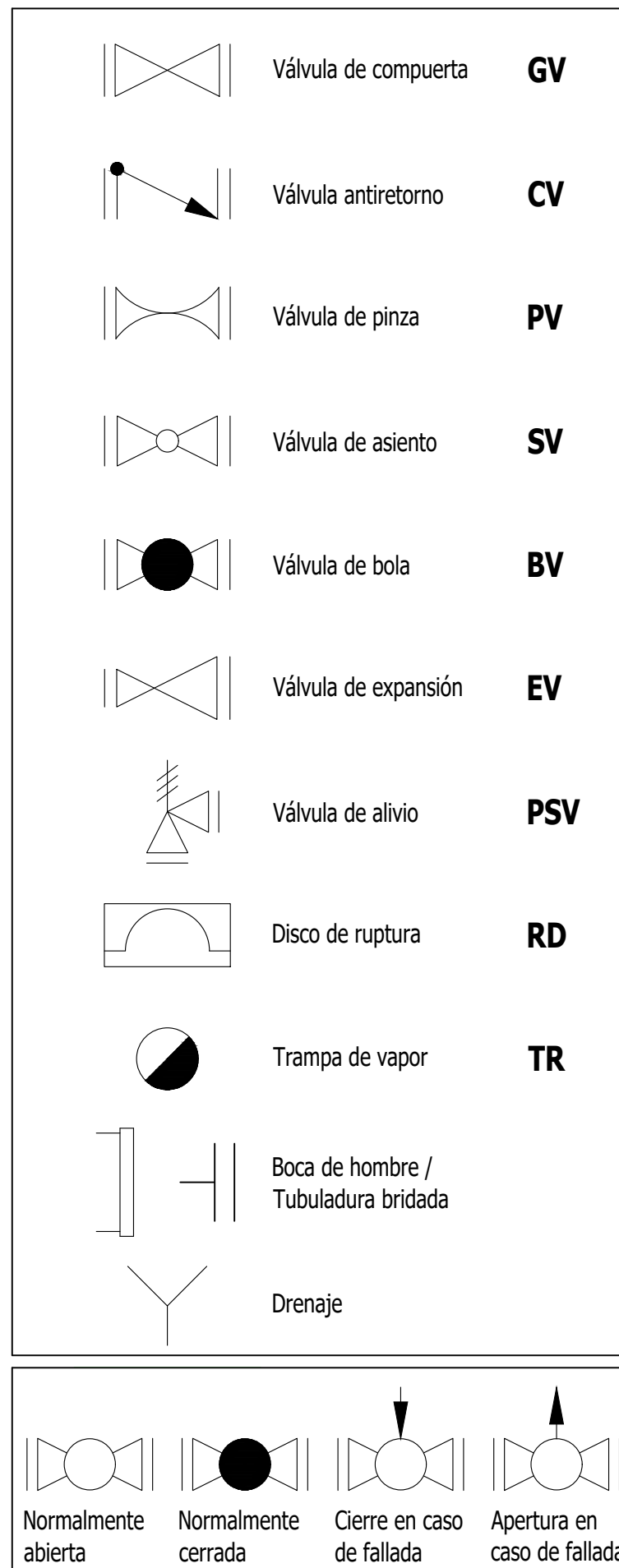
DESIGNACIÓN DE LÍNEAS



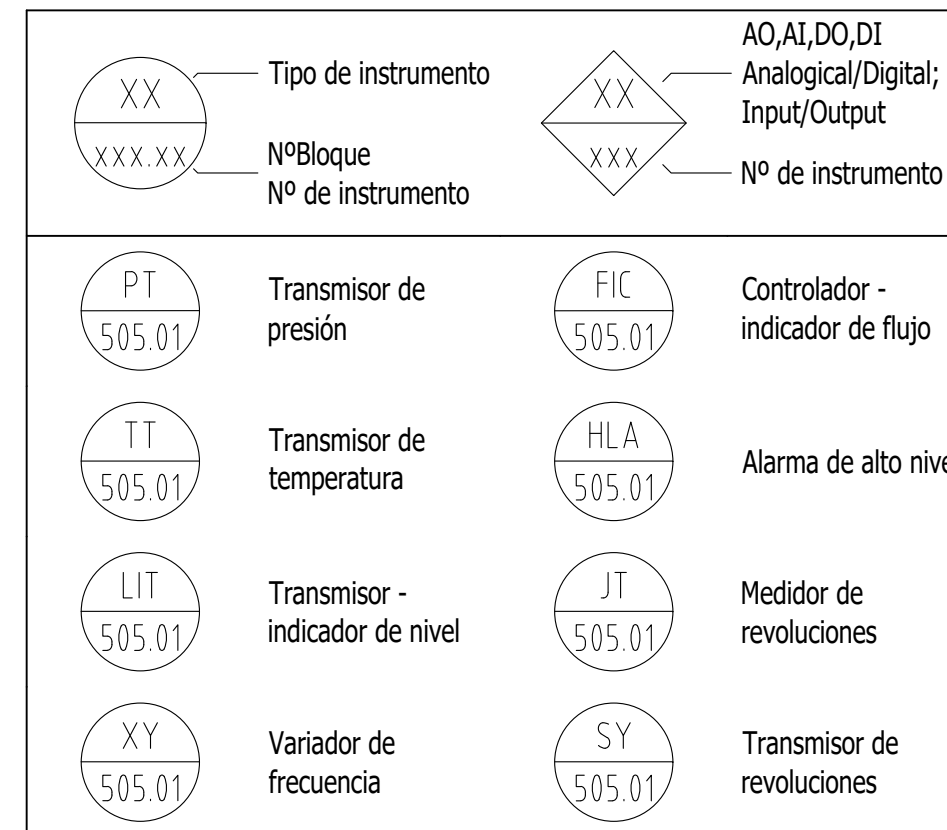
CÓDIGOS

MATERIALES DE LAS TUBERÍAS					
		DIN	ANSI		
Acero C.º	BB	ST-37.0	A 53 Gr.B		
Acero Inox.	CE	1.4306	A 304 L		
FLUIDOS Y SERVICIOS					
DIS	Mezcla de destilados	GLYW	Agua glicolada		
MPG	Monopropilenglicol	STE	Vapor		
MeOH	Metanol	COND	Condensado		
DMT	Dimetileterftalato	NL	Nitrógeno		
CEL	Coadyuvante Cellite				
PRESIONES					
CLAVE	PN	CLAVE	PN	CLAVE	PN
5	5	10	5	15	5
6	6	11	6	16	6
7	7	12	7	17	7
8	8	13	8	18	8
9	8	14	8	19	8

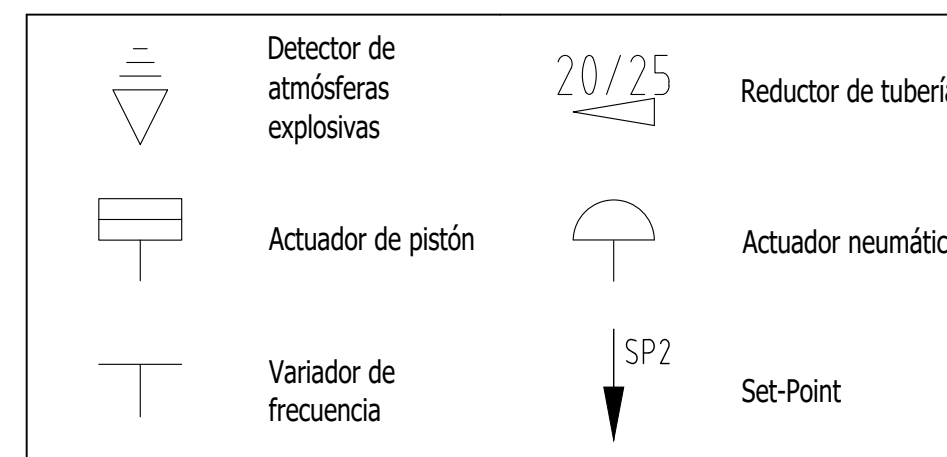
VÁLVULAS Y CONEXIONES



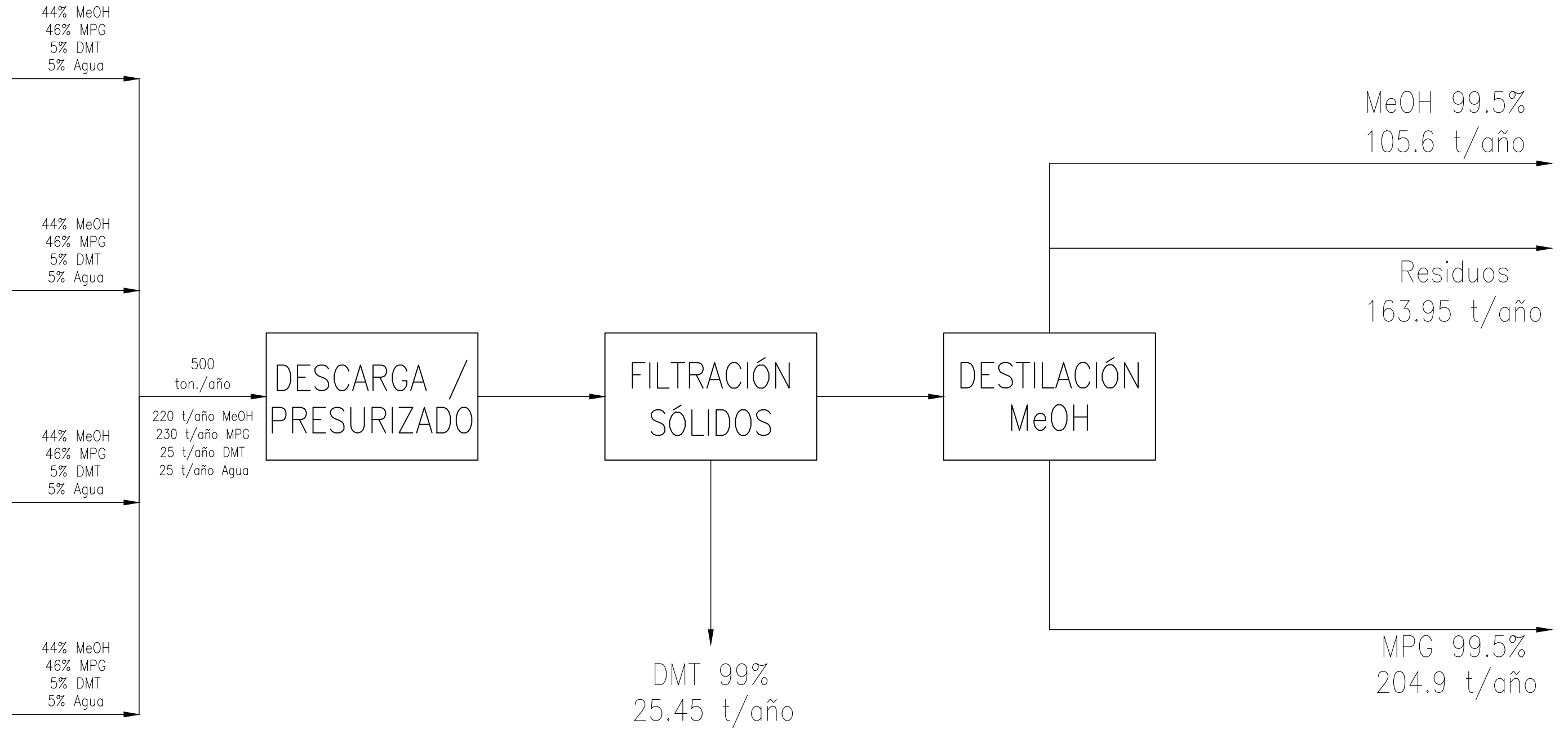
INSTRUMENTACIÓN



ACCESORIOS Y ACTUADORES

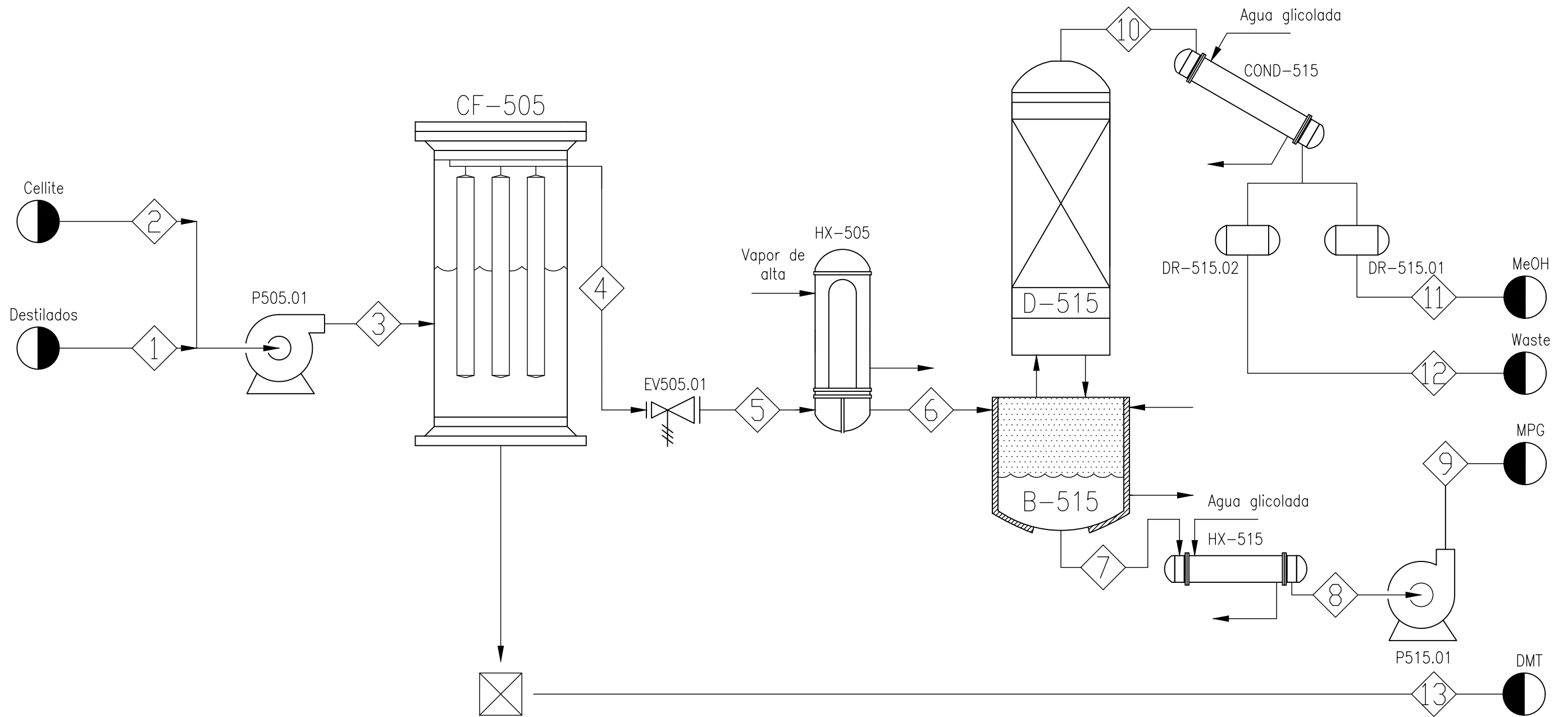


	Fecha	Nombre	Planta para la recuperación de monopropilenglicol subproducto de una reacción
Dibujado	25/05/2018	Julio Manuel Sánchez García	
Revisado	04/06/2018	Javier Hernández	
Normas	DIN-ISO-2401/10628/19227		
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI			<i>Simbología P&iD</i>



	Fecha	Nombre	
Dibujado	22/11/2017	Julio Manuel Sánchez García	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Revisado	25/04/2018	Javier Hernández Torres	
Normas	-	-	
Escala	Diagrama de Bloques		

P505.01	CF-505	EV505.01	HX-505	B-515	D-515	COND-515	DR-505.01	HX-515	P-515.01
Bomba de impulsión de residuos de destilado	Candle Filter	Válvula de expansión de salida del filtro	Intercambiador vertical de precalentado de destilados	Calderín de columna con chaqueta térmica	Columna de destilación de MeOH empacada	Condensador total de columna D-515	Recibidores (drums) de la columna D-515	Intercambiador horizontal de enfriamiento de MPG	Bomba de envío al parque de tanques



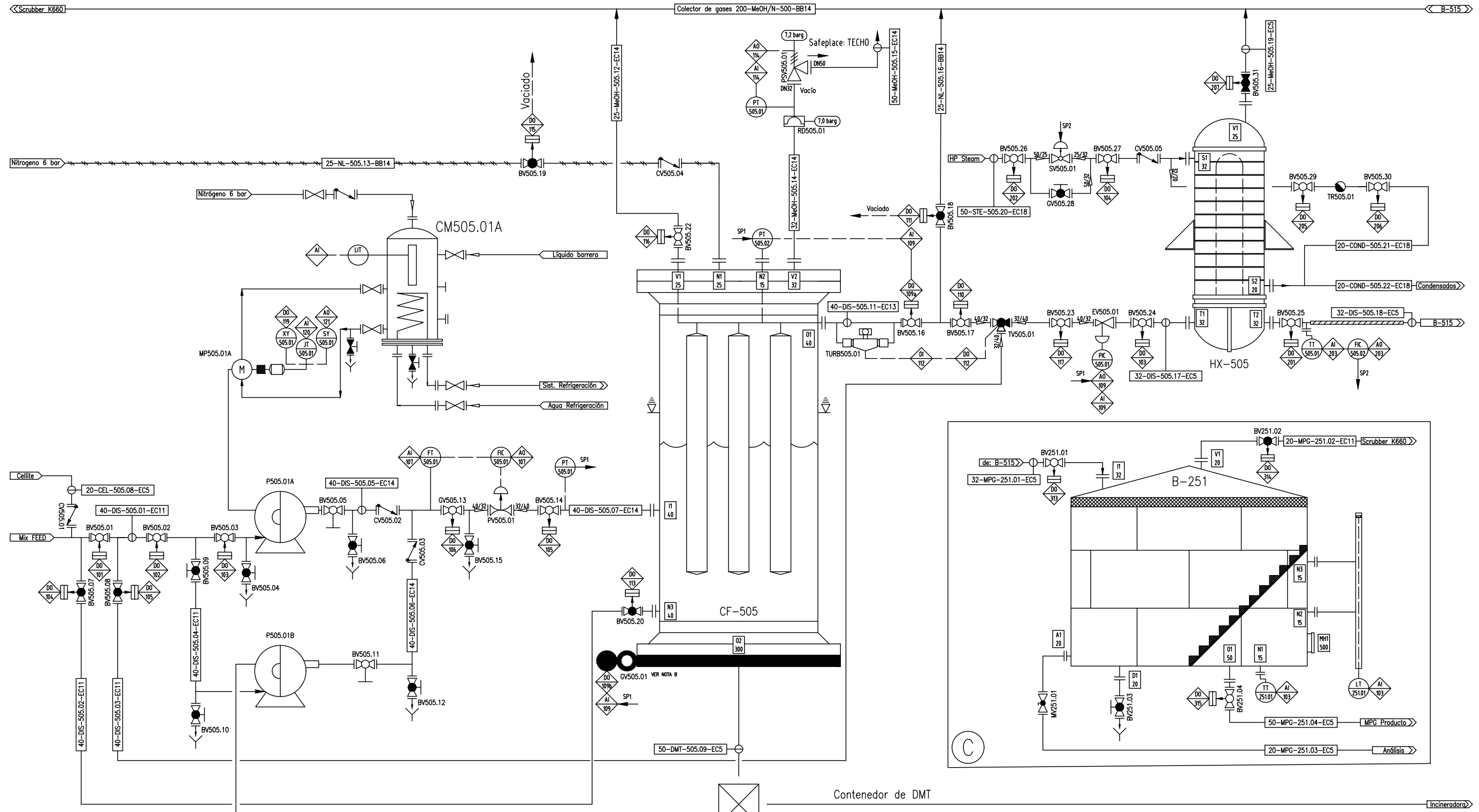
nº Corriente		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Producto		FEED	Cellite	Pre-Filtro	Post-Filtro			Fondos		Producto	Cabeza	Subproducto	Residuo	Residuo	
MPG	kg/h	127.792		127.792	127.664	127.664	127.664	113.264	113.264	113.264	14.400	0.000	14.400	0.128	
MeOH		122.208		122.208	122.086	122.086	122.086	0.001	0.001	0.001	122.085	58.473	63.613	0.122	
DMT		13.875		13.875											13.875
Agua		13.875		13.875	13.861	13.861	13.861	0.568	0.568	0.568	13.293	0.220	13.073	0.014	
Cellite			0.278	0.278										0.278	
MPG	t/lote	3.067		3.067	3.064	3.064	3.064	2.718	2.718	2.718	0.346	0.000	0.346	0.003	
MeOH		2.933		2.933	2.930	2.930	2.930	0.000	0.000	0.000	2.930	1.403	1.527	0.003	
DMT		0.333		0.333										0.333	
Agua		0.333		0.333	0.333	0.333	0.333	0.014	0.014	0.014	0.319	0.005	0.314	0.000	
Cellite			0.007	0.007										0.007	
Caudal	kg/h	277.75		277.75	263.61	263.61	263.61	113.83	113.83	113.83	149.78	58.69	91.09	14.14	
	t/lote	6.67		6.67	6.33	6.33	6.33	2.73	2.73	2.73	3.59	1.41	2.19	0.34	
	t/año	499.95		499.95	474.50	474.50	474.50	204.90	204.90	204.90	269.60	105.65	163.95	25.45	
	kg/hr ciclo	6666.00		6666.00	3163.33	3163.33	3163.33	527.22	527.22	527.22	299.56	117.39	182.17	339.33	
Entalpía	kcal/h	-477880.00		-477880.00	-465540.00	-465540.00	-457940.00	-165560.00	-176000.00	-176000.00	-292380.00	-103240.00	-284790.00	-12320.50	
T operación	°C	25.0	17.4	25.0	25.0	25.0	66.9	172.2	20.0	20.0	62.1	58.7	62.1	25.0	
P operación	bar a	4.00	1.00	7.00	6.10	1.00	1.00	0.79	0.79	1.00	0.78	0.78	0.78	-	
Densidad	kg/m3	934.4	336.0	934.4	925.3	925.3	875.8	865.4	1035.2	1035.2	0.6	751.9	784.0	1169.7	

	Fecha	Nombre
Dibujado	06/05/2018	Julio Manuel Sánchez García
Revisado	20/05/2018	Javier Hernández Torres
Normas	DIN-ISO-2401/10628/19227	

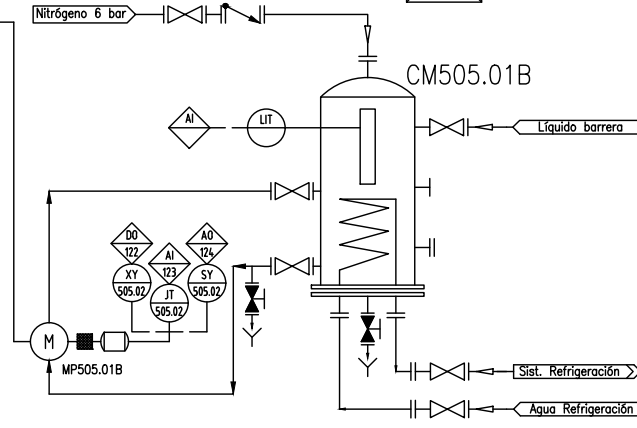
Planta para la recuperación de monopropilenglicol subproducto de una reacción

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

PFD de la Planta



TAG equipo	P505.01A/B	CF-505	HX-505	B-251
Espec. Técnicas	P = 0.37 kW Q _n : 1.34 m ³ /h	ΔP = 15% φ poro: 3.1 μm	BEU Exchanger Área: 1.60 m ²	Grosor virola 5 mm Grosor fondo 6 mm
Máx P trabajo (barg)	1/15	-1/6	Carcasa: 17 Tubos: 3	0/1
Máx T trabajo (°C)	35/55	60/100	Carcasa: 235 Tubos: 100	35/55
Material	Base: ASTM A48-25B Impulsor: AISI 304 Impeller: EN 1.4031	AISI316L	SS 304 L	A 283M gr. C

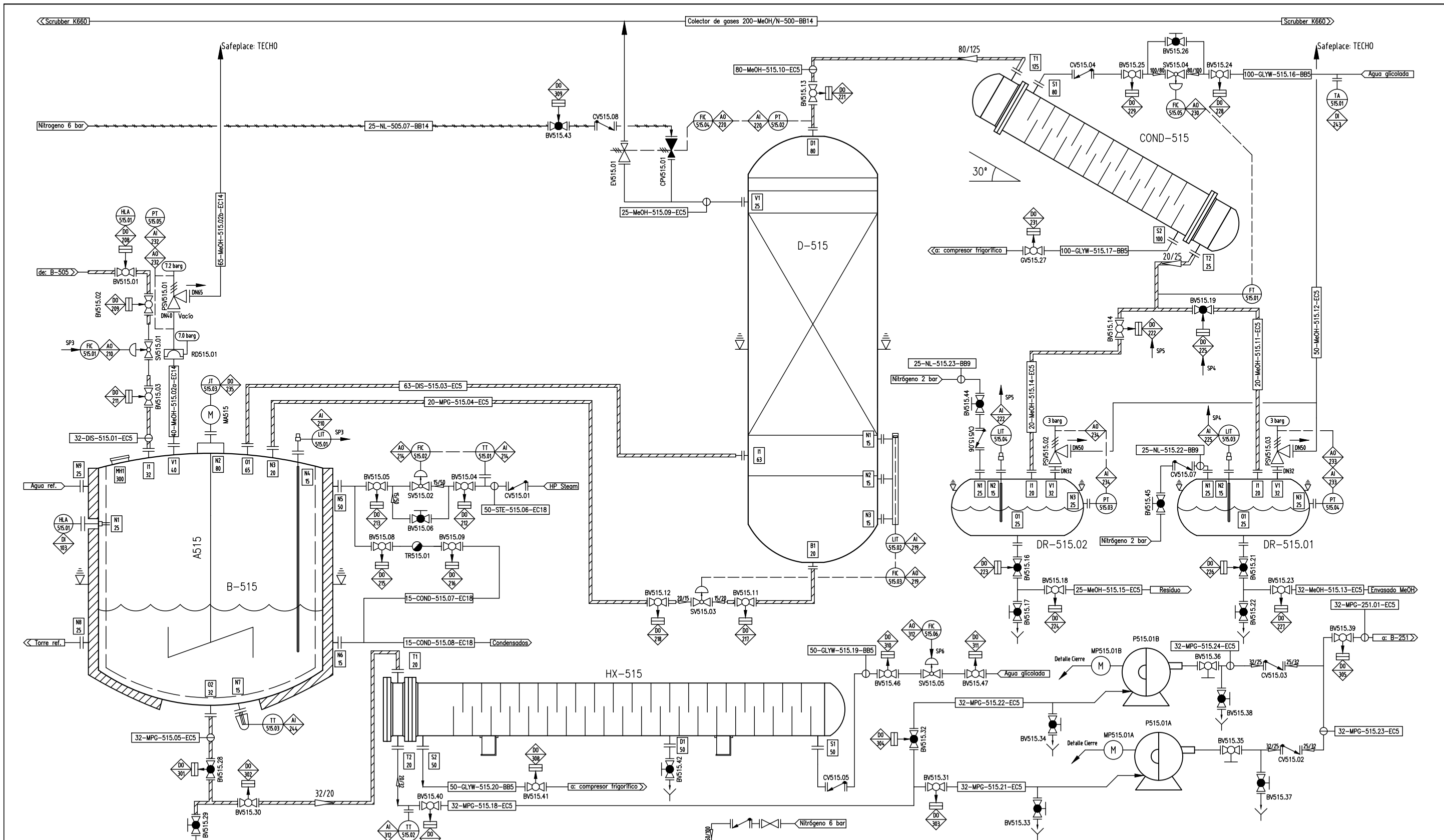


	Fecha	Nombre
Dibujado	21/05/2018	Julio Manuel Sánchez García
Revisado	04/06/2018	Javier Hernández
Normas	DIN-ISO-2401/10628/19227	
A	Máx Trabajo/Diseño. Resto de casos sólo se adjuntan los parámetros de diseño.	
B	Compuerta de fondo del filtro	
C	Parque de tanques	

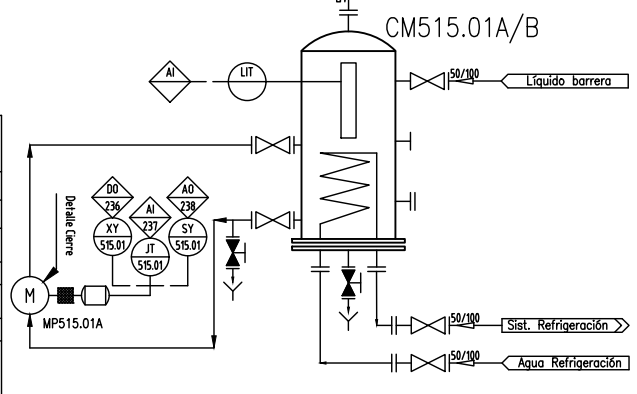
Planta para la recuperación de monopropilenglicol subproducto de una reacción

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

P&iD 1010



TAG equipo	B-515	D-515	COND-515	HX-515	P515.01A/B
Espec. Técnicas	V _{nom} : 10000 L %llenado: 65/20	Ø: 0.37 m HETP: 0.44 m	BEM Condenser Área: 26.2 m ²	AEU Exchanger Área: 17.7 m ²	P = 0.37 kW Q _h : 1.34 m ³ /h
Máx P trabajo (barg)	-1/6	0.8/1	Carcasa: 1/3 Tubos: 0.8/3	Carcasa: 1/3 Tubos: 1/3	1/15
Máx T trabajo (°C)	172/200	172/250	Carcasa: 70 Tubos: 115	Carcasa: 60 Tubos: 210	35/55
Material	SS 304 L	Torre: SS304 L Rings: AISI 316TI	SS 304 L	SS 304 L	Base: ASTM A48-25B Impulsor: AISI 304 Impeller: EN 1.4031

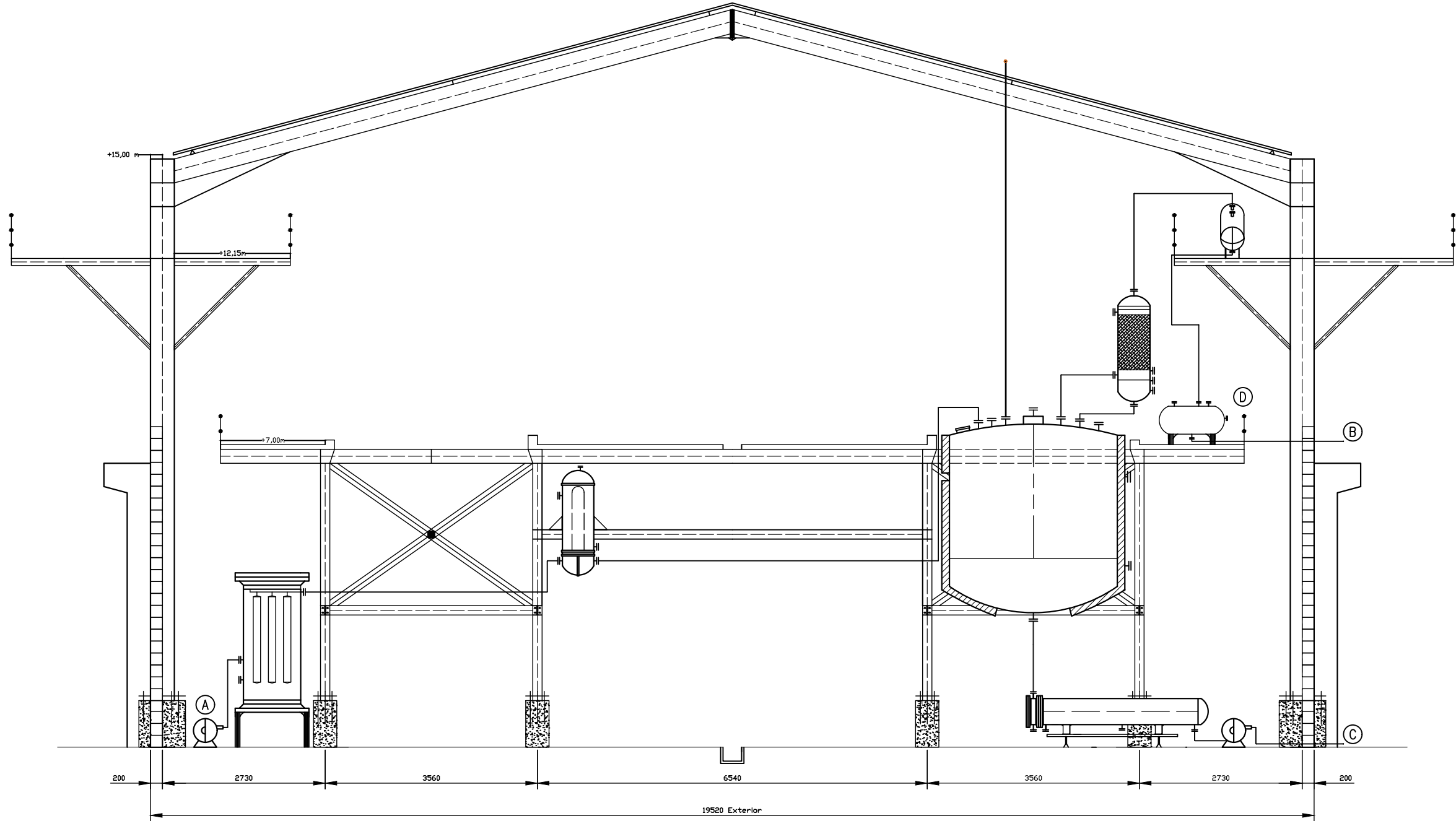


	Fecha	Nombre
Dibujado	21/05/2018	Julio Manuel Sánchez García
Revisado	04/06/2018	Javier Hernández Torres
Normas	DIN-ISO-2401/10628/19227	
A	Máx Trabajo/Diseño. Resto de casos sólo se adjuntan los parámetros de diseño.	

Planta para la recuperación de monopropilenglicol subproducto de una reacción

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

P&iD 1020



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i>
<i>Dibujado</i>	11/04/2018	Julio Manuel Sánchez García	
<i>Revisado</i>	26/05/2018	Javier Hernández Torres	
<i>Normas</i>	DIN-ISO-2401/10628/19227		
Las tuberías representadas en este plano son sólo una aproximación del diagrama de flujo del proceso. La instrumentación completa está representada en los diagramas P&ID.	A	destilado de los reactores B-500, B_510, B-520	<i>Layout Separaciones</i>
	B	a la envasadora K-418	
	C	hacia tanque B-251	
	D	Hay 2 drums conectados a la columna.	

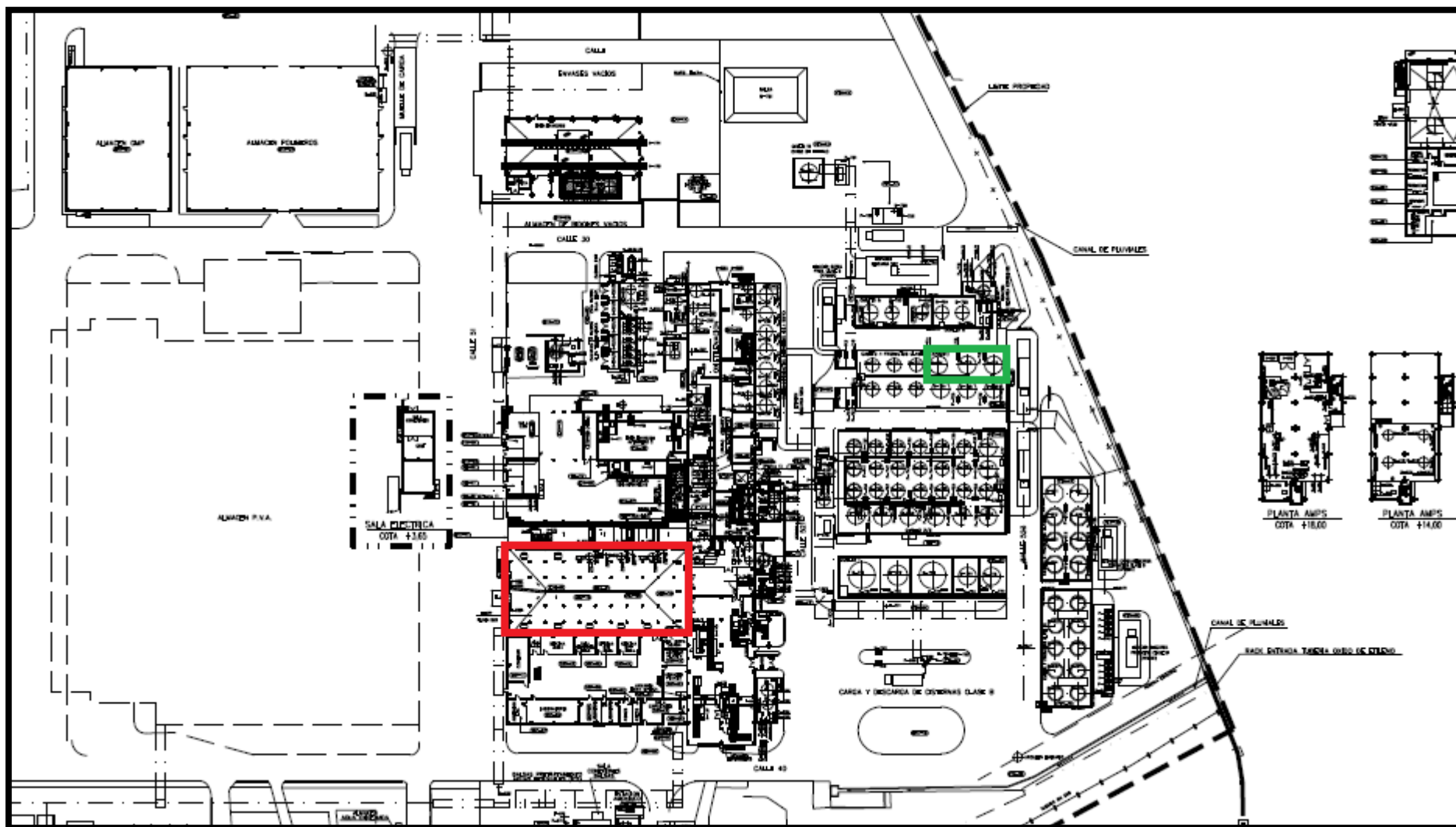
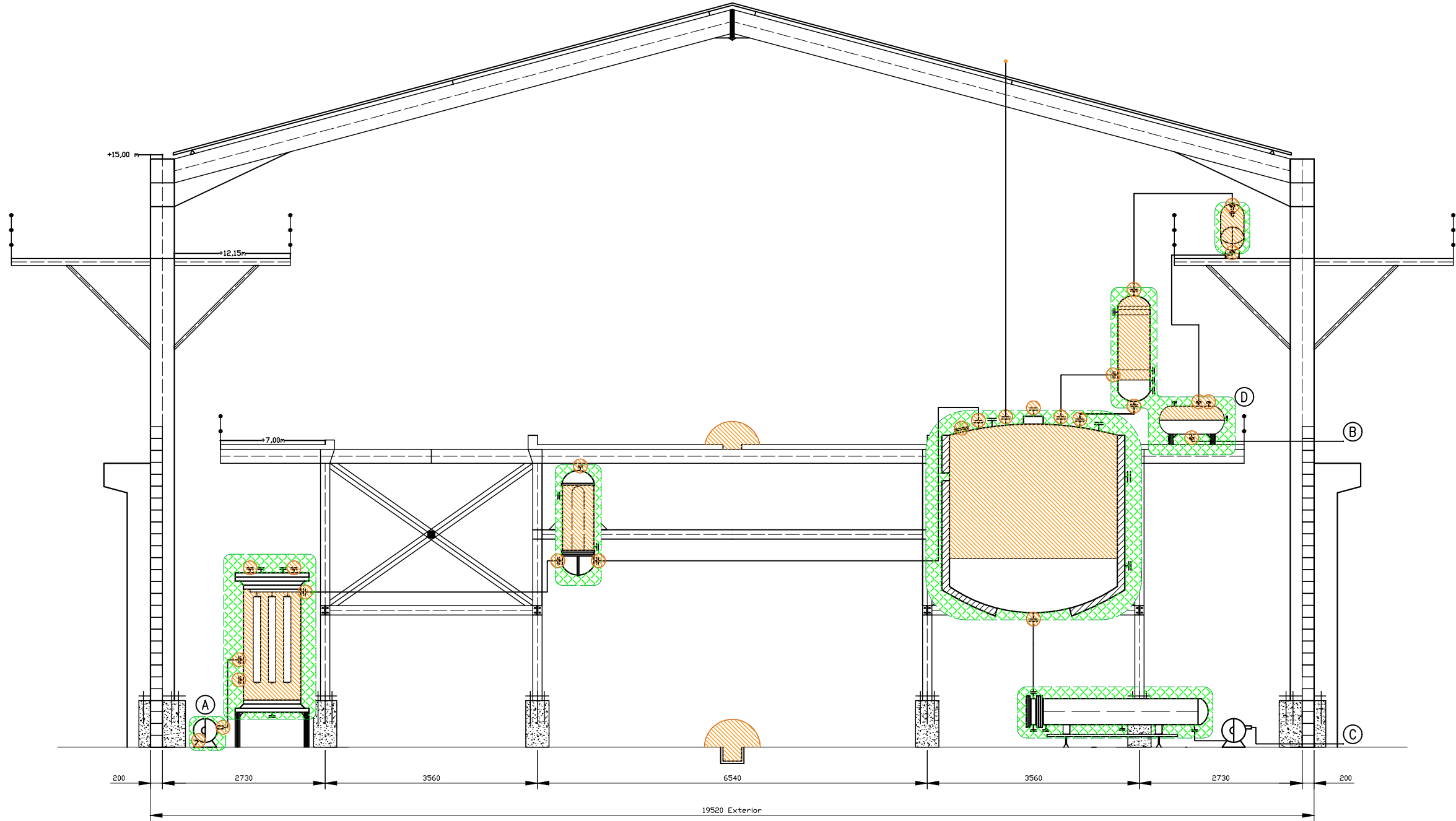


Figura 4.0. Plano de implantación. **Rojo**: zonas de la nave donde se instalarán los equipos. **Verde**: parque de tanques, depósito B-251.



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i>
<i>Dibujado</i>	11/04/2018	Julio Manuel Sánchez García	
<i>Revisado</i>	26/05/2018	Javier Hernández Torres	
<i>Normas</i>	DIN-ISO-2401/10628/19227		
Se ha considerado como zona 0 los interiores de equipos en que pueda haber presencia de metanol (descartado ya que la zona está inertizada). Los escapes primarios corresponden a zona 1. Se asume que todas las bridas (no representadas) son escapes secundarios, zona 2.		Zona 0; $P > 10^{-1}$	<i>Zonas ATEX</i>
		Zona 1; $10^{-1} < P < 10^{-3}$	
		Zona 2; $10^{-3} < P < 10^{-5}$	
		Zona Segura; $P < 10^{-5}$	

4.2 Diseño y listado de tuberías

4.2.1 Selección del material de las tuberías

Los materiales de las tuberías del proceso se han seleccionado siguiendo las normativas de Clariant. Los materiales considerados se adjuntan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Materiales de las tuberías del proceso.

Tipo de tubería	Nomenclatura		Justificación
	DIN	ANSI	
Servicio	St 37.0	A53 Gr.A	-
Proceso	X 2CrNi18.9	SS 304L	Se utiliza acero inoxidable ya que en la mayoría de las tuberías de proceso puede haber presencia de metanol.

4.2.2 Cálculo del diámetro nominal de las tuberías

Para calcular el diámetro nominal (DN) de las tuberías, se ha considerado el caudal que transcurre por la tubería en el tiempo de ciclo designado¹³ y se han fijado un as velocidades de paso de fluido aproximadas de 1 m/s y 30 m/s para líquidos y gases, respectivamente (ref. 3).

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_h}{u \cdot \pi}} \quad (\text{E.4.1})$$

Donde:

- **d**: diámetro aproximado, [m]
- **Q_h**: caudal hidráulico real [m³/s]
- **u**: velocidad del fluido [m/s]

Después, se redondea el diámetro obtenido al inmediatamente superior. Si el DN escogido no cumple las especificaciones de pérdida de carga, se vuelve a recalcular el DN de manera iterativa. Los DN normalizados son los siguientes:

Tabla 4.2. Diámetros nominales (DN) de tubería normalizados.

DN (mm)	10	15	20	25	32	40	50	63	80	100	125
DN (inch)	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5

4.2.3 Cálculo del espesor y el diámetro interno de tubería

Se ha calculado el espesor mínimo de tubería según el apartado 2 de la normativa ASME B31.1:

$$t_m = 0,5 \cdot \frac{P \cdot D_o}{(SE + P \cdot y)} \quad (\text{E.4.2})$$

- **t_m**: espesor mínimo de pared [mm]
- **P**: presión de diseño [kPa]
- **D_o**: diámetro exterior [mm]. Determinado a partir del diámetro nominal, Tabla 4.2.
- **SE**: tensión admisible del material [kPa]. Se extraen los valores de la tabla A-3 ASME.
- **y**: coeficiente de diseño, que vale 0,4 para los materiales y temperaturas considerados en el proceso¹⁴.

¹³ Ver apartado 3.3. “Capacidad Operativa”

¹⁴ Los valores del coeficiente y se pueden extraer de la tabla 104.1.2(A) de la norma ASME B31.1, pág 20.

Una vez calculado el espesor mínimo, a éste se le debe sumar el margen de corrosión o *corrosion allowance*, que se establece en 2 mm.

$$e_{final} = e_{min} + c \cdot allowance \quad (E.4.3)$$

Finalmente, se debe tener en cuenta que los tubos fabricados a nivel industrial tienen unas medidas normalizadas. Por ello, con las medidas normalizadas se fijarán a) el diámetro externo y b) el espesor normalizado del tubo (se escogerá siempre el espesor inmediatamente superior al calculado). Finalmente, con estos dos valores establecidos, se calculará el diámetro interno como:

$$D_{in} = D_{out} - 2 \cdot e_{final} \quad (E.4.4)$$

Las dimensiones normalizadas de tubos se encuentran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Espesor y diámetros interiores de los tubos normalizados.

D _N (mm)	D _E (mm)	DIN 2458 (mm)		DIN 2448 (mm)		DIN 2440 (mm)		DIN 2441 (mm)	
		Grosor	D _{in}	Grosor	D _{in}	Grosor	D _{in}	Grosor	D _{in}
10	17.2	1.8	13.6	1.8	13.6	2.35	12.5	2.9	11.4
15	21.3	2	17.3	2	17.3	2.65	16	3.25	14.8
20	26.9	2	22.9	2.3	22.3	2.65	21.6	3.25	19.4
25	33.7	2	29.7	2.6	28.5	3.25	27.2	4.05	25.6
32	42.4	2	38.4	2.6	37.2	3.25	35.9	4.05	34.3
40	48.3	2.3	43.7	2.6	43.1	3.65	41.8	4.05	40.2
50	60.3	2.3	55.7	2.9	54.5	3.65	53	4.5	51.3
63	76.1	2.6	70.9	2.9	70.3	3.65	68.8	4.5	67.1
80	88.9	2.9	83.1	3.2	82.5	4.05	80.8	4.85	79.2
100	114	3.2	107.9	3.6	107.1	4.5	105.3	5.4	103.5
125	140	3.6	132.5	4	131.7	4.85	130	5.4	128.9

4.2.4 Cálculo de la pérdida de carga lineal

Para el cálculo del coeficiente de fricción que es necesario para calcular la pérdida de carga lineal se ha utilizado la ecuación de Colebrook-White implícita, que tiene la ventaja de no tener que adaptarse en función del tipo de flujo¹⁵ en el que se encuentra el fluido.

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (E.4.5)$$

Donde:

- λ : coeficiente de fricción, [Pa/m]
- ε : rugosidad de la tubería, [0,5 mm asignados por defecto]
- **Re**: número de Reynolds, [-]

El número de Reynolds se calcula mediante la expresión:

$$Re = \frac{u \cdot D_{in} \cdot \rho}{\mu} \quad (E.4.6)$$

¹⁵ Re < 2300, flujo laminar | 2300 < Re < 4000, flujo en estado de transición | Re > 4000, flujo turbulento

- ρ : densidad del fluido que pasa por la tubería [kg/m³]
- μ : viscosidad dinámica del fluido [cP]
- La velocidad (u) y longitud característica de la tubería (D_{in}) están en unidades del S.I.

Para resolver la ecuación se ha utilizado la solución de Serghide, que implica calcular tres factores intermedios. Esta solución coincide con la ecuación de Colebrook con un grado de desviación del 0.0023%.

$$A = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{12}{Re} \right) \quad (\text{E.4.7})$$

$$B = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51A}{Re} \right) \quad (\text{E.4.8})$$

$$C = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51B}{Re} \right) \quad (\text{E.4.9})$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = A - \frac{(B-A)^2}{C-2B+A} \quad (\text{E.4.10})$$

Finalmente, se definen las pérdidas de carga como:

$$\Delta P = \frac{L \cdot \lambda \cdot \rho \cdot u^2}{2 \cdot D_{in}} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{E.4.11})$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (\text{E.4.12})$$

Para calcular la pérdida de carga total simplemente es necesario multiplicar el parámetro obtenido anteriormente por la longitud de la línea. Debido a los posibles cambios que pueda sufrir el proyecto más adelante, se han considerado unas longitudes al alza de manera conservadora, que también incluyen la longitud equivalente de los accesorios incorporados en cada línea.

La pérdida de carga máxima admisible se ha fijado en un 0.1 de la presión de la línea, valor que no se ha superado en ningún caso.

Los valores asignados de longitud son 5, 10, 20 y 120 m (siendo este último la distancia real desde la caseta del tren de reacción hasta el parque de tanques, y los tres primeros valores estándar asignados a tuberías de longitud “corta”, “media” y “larga”). Estas longitudes son especialmente conservadoras, para así compensar las pérdidas de carga provocadas por la longitud equivalente de los accesorios (bridas, codos, etc.). A continuación, en la Tabla 4.4 se resumen los resultados del estudio hidráulico realizado para las líneas de proceso.

Tabla 4.4. Estudio hidráulico de tuberías.

Línea	Q (m ³ /h)	u (m/s)	Re (-)	f (-)	ε/D (-)	ΔP total (Pa)	hf (m)
40-DIS-505.01-EC11	7.1	1.32	29241	0.042	0.011	3873.06	0.42
40-DIS-505.02-EC11	7.1	1.32	29241	0.042	0.011	3873.06	0.42
40-DIS-505.03-EC11	7.1	1.32	29241	0.042	0.011	3873.06	0.42
40-DIS-505.04-EC11	7.2	1.33	29527	0.041	0.011	3947.62	0.43
40-DIS-505.05-EC14	7.2	1.33	29527	0.041	0.011	3947.62	0.43
40-DIS-505.06-EC14	7.2	1.33	29527	0.041	0.011	3947.62	0.43
40-DIS-505.07-EC14	7.2	1.33	29527	0.041	0.011	3947.62	0.43
40-DIS-505.11-EC13	7.1	1.32	29241	0.042	0.011	7746.12	0.85
32-DIS-505.17-EC5	3.6	0.92	17221	0.045	0.013	4739.52	0.52
32-DIS-505.18-EC5	3.6	0.92	16300	0.045	0.013	9000.71	1.05
32-DIS-515.01-EC5	3.6	0.92	16300	0.045	0.013	2250.18	0.26
20-MPG-515.04-EC5	0.3	0.19	322391	0.051	0.022	173.050	0.02
32-MPG-515.05-EC5	1.3	0.34	7143	0.048	0.013	391.49	0.03
20-MeOH-515.11-EC5	0.2	0.17	257953	0.051	0.022	127.581	0.02
32-MeOH-515.13-EC5	0.5	0.12	288038	0.042	0.013	28.3482	0.00
20-MeOH-515.14-EC5	0.2	0.17	268965	0.051	0.022	133.013	0.02
25-MeOH-515.15-EC5	0.5	0.20	375966	0.046	0.018	118.161	0.02
32-MPG-515.18-EC5	1.3	0.33	245	0.115	0.013	866.665	0.09
32-MPG-515.21-EC5	1.3	0.33	245	0.115	0.013	866.665	0.09
32-MPG-515.22-EC5	1.3	0.33	245	0.115	0.013	866.665	0.09
32-MPG-515.23-EC5	1.3	0.34	249	0.115	0.013	1866.79	0.18
32-MPG-515.24-EC5	1.3	0.34	249	0.115	0.013	1866.79	0.18
32-MPG-251.01-EC5	1.3	0.34	249	0.115	0.013	22401.5	2.21
50-MPG-251.04-EC5	2.7	0.31	333	0.100	0.009	433.067	0.04

4.2.5 Cálculo del grosor de aislante

Se ha fijado como temperatura mínima requerida para instalar aislante los 60°C. Se ha escogido como material aislante la fibra de vidrio FiberGlass®, ya que es un aislante que no es combustible y aguanta temperaturas de hasta 232°C. Se ha descartado la alternativa de espumas elastoméricas ya que éstas solo resisten hasta 105°C y además son inflamables, lo cual es contraproducente con metanol presente en la mayoría del proceso.

Se ha priorizado un cálculo que asegure seguridad personal más que el grosor óptimo, especialmente porque es necesario asegurar un margen de variación en caso de que cambien mucho las sustancias presentes en los equipos. El procedimiento de cálculo es el que se describe a continuación:

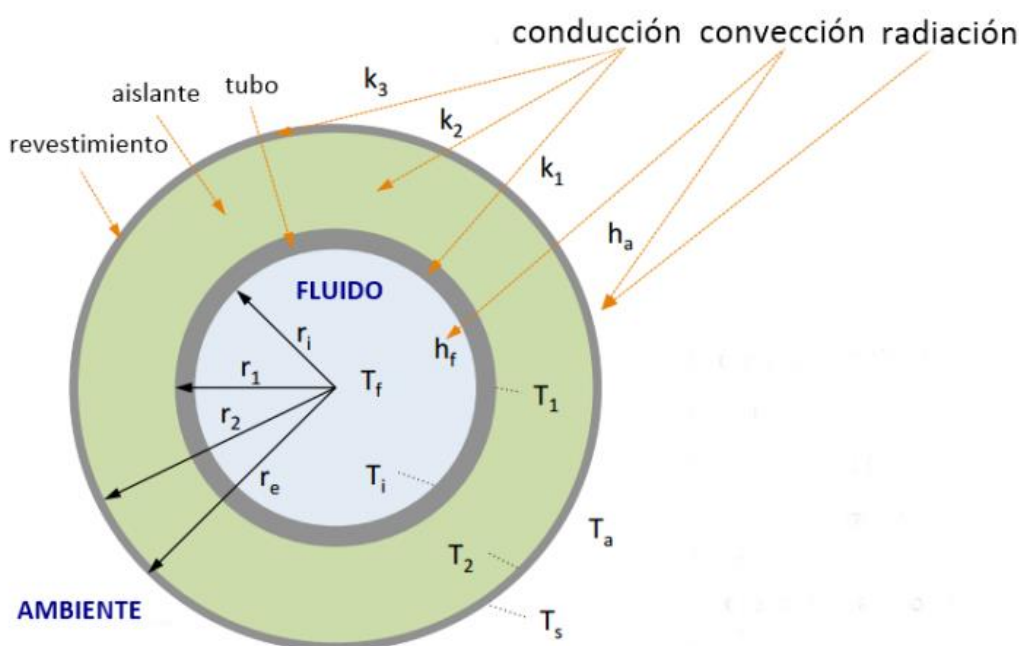


Figura 4.1. Esquema de las variables involucradas en el flujo de calor en una tubería. T y r indican las temperaturas (K) y los radios (m) de cada parte del tubo.

h_a es el coeficiente de convección entre la pared del aislante y el ambiente ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$).

k_1 y k_2 son los coeficientes de conducción térmica de la tubería y el aislamiento ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$).

1. Se ha fijado una temperatura de superficie, T_s , inferior a 60°C. $T_s = 30^\circ\text{C}$.
2. Se ha fijado el coeficiente de convección externo, h_a , con un valor de $15 \text{ W/m}^2\text{K}$.
3. Se ha calculado el término r_2 a partir del cálculo de resistencias mediante ley de Fourier:

$$T_s = \frac{(T_f - T_a)}{r_i h_a \cdot \left(\frac{1}{r_i h_f} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_2} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_2}\right)}{k_3} + \frac{1}{r_e h_a} \right)} \quad (\text{E.4.12})$$

Para simplificar el cálculo de E.3.5, se han utilizado las siguientes aproximaciones:

$$r_e \cong r_2; T_i \cong T_f; T_m = 0.5 \cdot (T_i + T_s) \quad (\text{E.4.13, 4.14, 4.15})$$

Esto implica que el término $\frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_2}\right)}{k_3}$ se elimina de la ecuación.

A su vez, el término $\frac{1}{r_i h_f}$ puede negligirse también.

- Finalmente, con r_2 calculado, se puede determinar el grosor de aislante ($r_2 - r_1$). El grosor de aislante se debe normaliza respecto a un estándar industrial (Fig. 4.2).

External diameter			Weight of insulation system in relation to different insulation thicknesses	Insulation thickness in mm							
Nominal diameter β DN	NPS (inch)	mm		30	40	50	60	80	100	120	140
15	½	21,3	kg/m	4	5	6	8	11	15	19	24
25	1	33,7	kg/m	4	5	7	8	12	15	20	25
50	2	60,3	kg/m	5	7	8	10	13	17	22	27
65	2 ½	76,1	kg/m	6	7	9	10	14	18	23	28
80	3	88,9	kg/m	7	8	10	11	15	19	24	29
100	4	114,3	kg/m	8	9	11	12	16	21	26	31
200	8	219,1	kg/m	12	14	16	18	23	28	33	39
300	12	323,9	kg/m	17	19	21	24	29	35	41	47
500	20	508,0	kg/m	25	28	31	34	40	47	54	62
700	28	711,0	kg/m	34	37	41	44	52	60	69	78
planar surface			kg/m ²	15	16	17	18	20	22	24	26

Figura 4.2. Estándares industriales de aislante según diámetro nominal de línea.

Tabla 4.5. Resultados del cálculo de aislantes.

Línea	Material de aislante	Conductividad térmica, k (W/m ¹ K ⁻¹)	Radio externo, r_2 (mm)	Grosor nominal (mm)
63-DIS-515.03-EC5			170.6	140
20-MPG-515.04-EC5			119.1	120
32-MPG-515.05-EC5	Fibra de vidrio,	$k_{\text{tubería}}: 16.3$ $k_{\text{aislante}}: 0.35$	138.5	120
80-MeOH-515.10-EC5	Star@Line.		62.10	40
20-MeOH-515.11-EC5	Ver Anexo C.		44.09	40
20-MeOH-515.14-EC5			46.89	40

4.2.6 Cálculo de bombas

En el proceso son necesarias dos bombas centrífugas: una después de la descarga de residuo de destilados, que sea capaz de aumentar la presión hasta 6 bar g, y otra al final del proceso de destilado, que pueda compensar las pérdidas de presión que se producen en la columna empacada y pueda impulsar el MPG producto hasta el tanque B-251. No se han calculado las bombas necesarias para suministrar servicios (agua de refrigeración, vapor, etc.) ya que esta parte quedaba fuera del *scope* del proyecto.

4.2.6.1 Determinación de la potencia requerida

Se ha calculado la potencia requerida mediante la siguiente expresión:

$$\text{Potencia bomba} = h_b \cdot \rho \cdot g \cdot Q / \eta \quad (\text{E.4.16})$$

Dónde:

h_b : altura de la bomba¹⁶, teniendo en cuenta el incremento antes y después de la bomba [m]

ρ : densidad del líquido [kg/m³]

Q : caudal hidráulico [m³/s]

η : rendimiento de la bomba (%)

No obstante, debe tenerse en cuenta que este valor es tan sólo una aproximación que no tiene en cuenta el rendimiento real de la bomba. El valor correcto de potencia de bomba se extrae a partir de las curvas características.

4.2.6.2 Valoración de la cavitación

La cavitación es un fenómeno hidrodinámico que se produce cuando se acumulan cantidades de vapor dentro de la bomba o se aspira en vacío. La cavitación genera daños en la bomba, que en el peor de los casos puede quedar inutilizada.

Para afirmar que una bomba está a salvo de problemas de cavitación, debe cumplirse:

$$NPSH_d > NPSH_r + 0.5 \quad (\text{E.4.17})$$

El cálculo de la NPSH disponible¹⁷ se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$NPSH_d = \frac{P_a - P_v}{\rho \cdot g} + Z_a - h_f + \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (\text{E.4.18})$$

En este caso, P_a es la presión en la zona de aspiración y P_v es la presión de vapor del fluido. La $NPSH_r$ se extrae de la ficha del fabricante. Asegurando que se cumpla la ecuación E.4.17.

4.2.6.3 Selección de bomba y determinación de potencia real y eficiencia

Una vez calculados los datos de los apartados, se deben utilizar las curvas características de las bombas escogidas para fijar parámetros como la potencia real y la eficiencia; además de comprobar si el criterio de cavitación es positivo.

Tabla 4.6. Resultados del cálculo de bombas.

Bomba	P505.01A/B	P515.01A/B
Línea asignada	40-DIS-505.05-EC14	32-MPG-251.01-EC5
Modelo seleccionado	CRN 3-9 A-PG-V-HQQV	CR 3-2 A-A-A-E-HQQE
Potencia de bomba (W)	1100	370
Rendimiento (%)	84.2	49.7
NPSH _d (m)	32.3	5.57
NPSH _r (m)	1.65	0.44
Altura de bomba, h_b (m)	33.2	4.278
Caudal de bomba (m ³ /h)	7.1	1.3

¹⁶ No confundir con h_f , que son las pérdidas en metros por rozamiento de tubería.

¹⁷ NPSH es el acrónimo inglés *Net Positive Suction Head*.

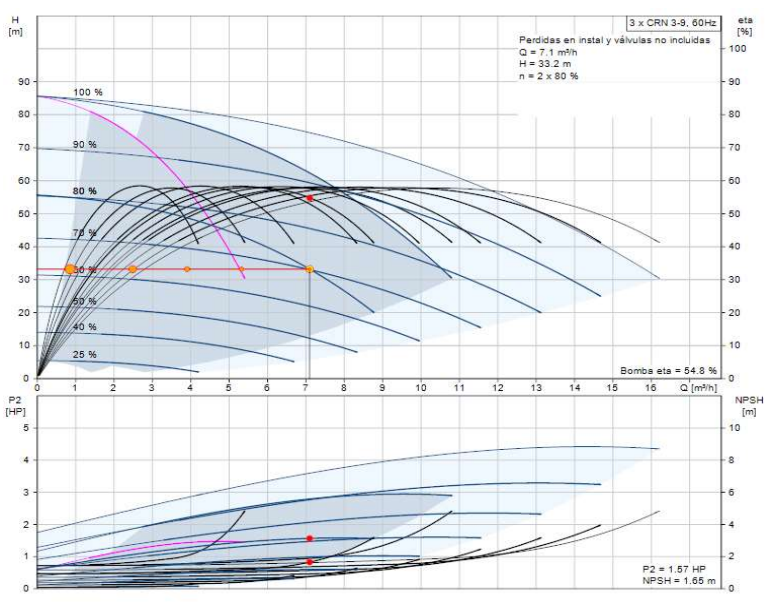
Tabla 4.7. Listado de líneas.

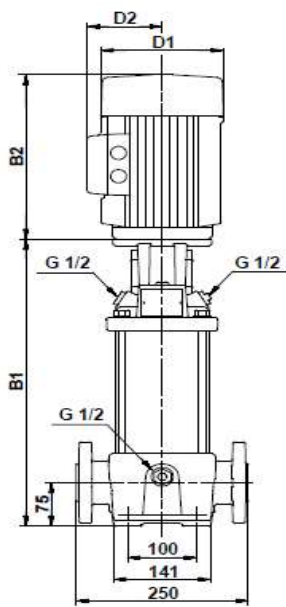
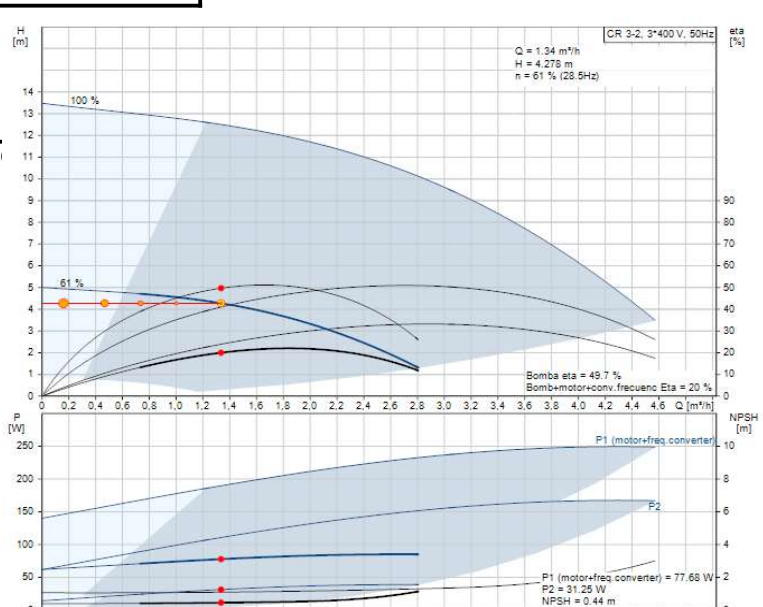
Línea	Localización		Fluido	Fase	T (°C)		Presión (bar g)			Caudal (m³/h)	Aislante	Grosor aislante (mm)	DN (mm)	D _{in} (mm)	D _{ex} (mm)	Tubo DIN	Espesor (mm)
	desde	hacia			Trab.	Dis.	Trab.	Dis.	Test								
40-DIS-505.01-EC11	Depósitos B-253/502/512/522	Bomba P505.01A	Destilado	L	25	45	3	4	10.0	7.1	No	-	40	43.70	48.30	2448	2.3
40-DIS-505.02-EC11	Filtro CF-505 [N3]	40-DIS-505.01-EC11	Destilado	L	25	45	3	4	10	7.1	No	-	40	43.70	48.30	2448	2.3
40-DIS-505.03-EC11	40-DIS-505.11-EC13	40-DIS-505.01-EC11	Destilado	L	25	45	3	4	10	7.1	No	-	40	43.70	48.30	2448	2.3
40-DIS-505.04-EC11	40-DIS-505.01-EC11	Bomba P505.01B	Destilado	L	25	45	3	4	10	7.2	No	-	40	43.70	48.30	2448	2.3
40-DIS-505.05-EC14	Bomba P505.01A	40-DIS-505.07-EC14	Destilado	L	25	45	6	7	10	7.2	No	-	40	43.70	48.30	2448	2.3
40-DIS-505.06-EC14	Bomba P505.01B	40-DIS-505.05-EC14	Destilado	L	25	45	6	7	10	7.2	No	-	40	43.70	48.30	2448	2.3
40-DIS-505.07-EC14	40-DIS-505.05-EC14	Filtro CF-505 [I1]	Destilado	L	25	45	6	7	10	7.2	No	-	40	43.70	48.30	2448	2.3
20-CEL-505.08-EC5	<i>Cellite</i>	40-DIS-505.01-EC11	<i>Cellite</i>	L	Amb.	40	0	1	2	-	No	-	20	22.30	26.90	2448	2.3
50-DMT-505.09-EC5	Filtro CF-505 [O2]	Contenedor de DMT	Dimetil Tereftalato	S	25	45	0	1	2	-	No	-	50	55.70	60.30	2458	2.3
40-DIS-505.11-EC13	Filtro CF-505 [O1]	32-DIS-505.17-EC5	Destilado	L	25	45	5.1	6.1	10	7.1	No	-	40	43.70	48.30	2448	2.3
25-MeOH-505.12-EC14	Filtro CF-505 [V1]	200-MeOH/N-500-BB14	Metanol	V	25	45	6	7	10	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
25-NL-505.13-BB14	Nitrógeno 6 bar	Filtro CF-505 [N1]	Nitrógeno 6 bar	G	Amb.	40	6	7	10	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
32-MeOH-505.14-EC14	Filtro CF-505 [V2]	PSV505.01	Metanol	V	100	120	6	7	10	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
50-MeOH-505.15-EC14	PSV505.01	<i>Safeplace</i> : Techo	Metanol	V	100	120	6	7	10	-	No	-	40	42.50	48.30	2458	2.9
25-NL-505.16-BB14	40-DIS-505.11-EC13	200-MeOH/N-500-BB14	Nitrógeno 6 bar	G	Amb.	40	6	7	10	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
32-DIS-505.17-EC5	40-DIS-505.11-EC13	Intercambiador HX-505 [T1]	Destilado	L	25	45	0	1	2	3.6	No	-	32	37.20	42.40	2448	2.6
32-DIS-505.18-EC5	Intercambiador HX-505 [T2]	32-DIS-515.01-EC5	Destilado	L	67	100	0	1	2	3.6	No	-	32	37.20	42.40	2448	2.6
25-MeOH-505.19-EC5	Intercambiador HX-505 [V1]	200-MeOH/N-500-BB14	Metanol	V	100	120	0	1	2	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
50-STE-505.20-EC18	HP Steam	Intercambiador HX-505 [S1]	V 15 bar	V	200	220	15	16.5	25	35.4	No	-	50	54.50	60.30	2448	2.9
20-COND-505.21-EC18	50-STE-505.20-EC18	20-COND-505.22-EC18	Condensado	L	200	220	15	16.5	25	-	No	-	20	22.30	26.90	2448	2.3
20-COND-505.22-EC18	Intercambiador HX-505 [T2]	Condensados	Condensado	L	200	220	15	16.5	25	-	No	-	20	22.30	26.90	2448	2.3
32-DIS-515.01-EC5	32-DIS-505.18-EC5	Calderín B-515 [I1]	Destilado	L	67	100	0	1	2	3.6	No	-	32	37.20	42.40	2448	2.6
40-MeOH-515.02a-EC14	Calderín B-515 [V1]	PSV515.01	Metanol	V	180	200	6	7	10	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
65-MeOH-515.02b-EC14	PSV515.01	<i>Safeplace</i> : Techo	Metanol	V	180	200	6	7	10	-	No	-	40	42.50	48.30	2458	2.9
63-DIS-515.03-EC5	Calderín B-515 [O1]	Columna D-515 [I1]	Destilado	V	170	190	0	1	2	395.2	Sí	140	63	70.90	76.10	2458	2.6
20-MPG-515.04-EC5	Columna D-515 [B1]	Calderín B-515 [N3]	MPG	L	172.2	200	-0.2	0.8	2	0.3	Sí	120	20	22.30	26.90	2448	2.3

Línea	Localización		Fluido	Fase	T (°C)		Presión (bar g)			Caudal (m³/h)	Aislante	Grosor aislante (mm)	DN (mm)	D _{in} (mm)	D _{ex} (mm)	Tubo DIN	Espesor (mm)
	desde	hacia			Trab.	Dis.	Trab.	Dis.	Test								
32-MPG-515.05-EC5	Calderín B-515 [O2]	Intercambiador HX-515 [T1]	MPG	L	172.2	200	-0.2	0.8	2	1.3	Sí	120	32	37.20	42.40	2448	2.6
50-STE-515.06-EC18	HP Steam	Chaqueta Calderín B-515	Condensado	L	200	250	15	16.5	25	-	No	-	50	54.50	60.30	2448	2.9
15-COND-515.07-EC18	50-STE-515.06-EC18	15-COND-515.08-EC18	Condensado	L	200	250	15	16.5	25	-	No	-	15	16.70	21.30	2448	2.3
15-COND-515.08-EC18	Chaqueta Calderín B-515	Condensados	Condensado	L	200	250	15	16.5	25	-	No	-	15	16.70	21.30	2448	2.3
25-MeOH-515.09-EC5	Columna D-515 [V1]	200-MeOH/N-500-BB14	Metanol	V	70	100	-0.2	0.8	2	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
40-MeOH-515.10-EC5	Columna D-515 [D1]	COND-515 [T1]	Metanol	V	62.1	100	-0.2	0.8	2	202	Sí	40	40	42.50	48.30	2458	2.9
20-MeOH-515.11-EC5	COND-515 [T2]	Drum DR-515.01 [I1]	Metanol	L	58.7	80	-0.2	0.8	2	0.2	Sí	40	20	22.30	26.90	2448	2.3
50-MeOH-515.12-EC5	PSVs Drums	<i>Safeplace</i> : Techo	Metanol	V	80	100	-0.2	0.8	2	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
32-MeOH-515.13-EC5	Drum DR-515.01 [O1]	Envasado	Metanol	L	58.7	80	-0.2	0.8	2	0.5	No	-	32	37.20	42.40	2448	2.6
20-MeOH-515.14-EC5	COND-515 [T2]	Drum DR-515.02 [I1]	Metanol	L	62.1	100	-0.2	0.8	2	0.2	Sí	40	20	22.30	26.90	2448	2.3
25-MeOH-515.15-EC5	Drum DR-515.02 [O1]	Residuo	Metanol	L	62.1	100	-0.2	0.8	2	0.5	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
100-GLYW-515.16-BB5	Agua Glicolada	COND-515 [S1]	Agua Glicolada	L	5	25	0	1	2	24.90	No	-	100	97.00	101.60	2458	2.3
100-GLYW-515.17-BB5	COND-515 [S2]	Compresor frigorífico	Agua Glicolada	L	5	25	0	1	2	-	No	-	100	97.00	101.60	2458	2.3
32-MPG-515.18-EC5	Intercambiador HX-515 [T2]	32-MPG-515.21-EC5	MPG	L	20	40	-0.2	0.8	2	1.3	No	-	32	37.80	42.40	2448	2.3
50-GLYW-515.19-BB5	Agua Glicolada	Intercambiador HX-515 [S1]	Agua Glicolada	L	5	25	0	1	2	8.46	No	-	50	55.70	60.30	2458	2.3
50-GLYW-515.20-BB5	Intercambiador HX-515 [S2]	Compresor frigorífico	Agua Glicolada	L	5	25	0	1	2	-	No	-	50	55.70	60.30	2458	2.3
32-MPG-515.21-EC5	32-MPG-515.18-EC5	Bomba P515.01A	MPG	L	20	40	-0.2	0.8	2	1.3	No	-	32	37.80	42.40	2448	2.3
32-MPG-515.22-EC5	32-MPG-515.18-EC5	Bomba P515.01B	MPG	L	20	40	-0.2	0.8	2	1.3	No	-	32	37.80	42.40	2448	2.3
32-MPG-515.23-EC5	Bomba P515.01A	32-MPG-251.01-EC5	MPG	L	20	40	0	1	2	1.3	No	-	32	37.20	42.40	2448	2.6
32-MPG-515.24-EC5	Bomba P515.01B	32-MPG-251.01-EC5	MPG	L	20	40	0	1	2	1.3	No	-	32	37.20	42.40	2448	2.6
32-MPG-251.01-EC5	Bombas P515.01	Tanque B-251 [I1]	MPG	L	20	40	0	1	2	1.3	No	-	32	37.20	42.40	2448	2.6
50-MPG-251.02-EC11	Tanque B-251 [V1]	Scrubber K-660	MPG	G	20	40	3	4	4	-	No	-	50	55.70	60.30	2458	2.3
20-MPG-251.03-EC5	Tanque B-251 [A1]	Análisis	MPG	L	20	40	0	1	2	-	No	-	20	22.30	26.90	2448	2.3
50-MPG-251.04-EC5	Tanque B-251 [O1]	MPG Producto	MPG	L	20	40	0	1	2	2.7	No	-	50	55.70	60.30	2448	2.3
25-NL-515.22-BBX	Nitrógeno 2 bar	Drum DR-515.01 [N1]	Nitrógeno 2 bar	G	Amb.	40	2	3	4	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
25-NL-515.23-BBX	Nitrógeno 2 bar	Drum DR-515.02 [N1]	Nitrógeno 2 bar	G	Amb.	40	2	3	4	-	No	-	25	28.50	33.70	2448	2.6
200-MeOH/N-500-BB14	Venteos generales	Scrubber K-660	Mezcla de vapores	V	200	250	6	7	10	-	No	-	200	210.00	219.00	2458	4.5

1	GENERAL	Manufacturer: GRUNDFOS				
2		Type: Centrifugal Pump Model: CRN 3-9 A-P-G-V-HQV				
3		Item No.: P505.01A/B	No. of pumps required: 2 Code: 96083880			
4	OPERATING CONDITIONS	Liquid pumped	Distillate			
5		Pumping Temp.(P.T)	25 °C			
6		Density at P.T.	934.4 kg/m3			
7		Vapor Press. at P.T.	0.0002 bar g			
8		Viscosity at P.T.	1.85 cP			
9		Capacity	Pump Drawing			
10		Real	7.1 m ³ /h			
11		Nominal	3.6 m ³ /h			
12		Suction Pressure	4 bar			
13	Discharge Pressure	7 bar				
14	Differential Pressure	3 bar				
15	Differential Head	33.2 m.l.c.				
16	N.P.S.H. Required	1.65 m.l.c.				
17	N.P.S.H. Available	32.3 m.l.c.				
18	Design Temperature	90 °C				
19	Max.Allow.working pressure	25 bar				
20	N.P.S.H.Required	1.65 m.l.c.				
21	Rot.freq.	60 Hz				
22	Power at Shaft	1.1 kW				
23	Efficiency	84.2 %				
24	Min.Cont.flow	m ³ /h				
25	CONSTRUCTION DETAILS	Arrangement	Horizontal X Vertical			
26		Impellers/stages	9/9			
27		Suction diameter	50 mm			
28		Discharge diameter	42.2 mm			
29	Dimensions (mm)					
30	[Ver dibujo]					
31	ELECTRICAL	Motor Type	3516M			
32		phi	1.15			
33		Nominal speed	3466 rpm			
34		Nominal tension	3 x 208-230/460 V			
35		Starting current	850-930 ^c			
36		Nominal current	4.90 - 4.60/2.30 A			
37		Mechanical Seal				
38	SHAFT SEALING	Manufr.	GRUNDFOS			
39		Type	Double Seal			
40		Classification code acc. API:				
41	MATERIALS	Stuffing box packing				
42		Stuffing box pressure(eff.)	kg/cm ² g			
43		Lip Seal				
44	DRIVER	Base	Stainless steel	Flange	PJE	
45		Base	DIN W.-Nr-1.4401	Flange	FT115	
46		Base	ASTM A 351	CF 8M		
47		Impeller	Stainless Steel			
48	TESTS	Impeller	AISI 316			
49		X E-motor	Type	71-B		
50		Installed Power	2 kW			
51		Rot.freq.	60 s ⁻¹			
52		Protection grade	IE85			
53	MISC.	Insulation grade	F			
54		Hidrostatic test	kg/cm ² g			
55	REMARKS	NPSH test	m.w.c			
56		Net weight	25	kg		
57	Gross weight	28	kg			
58	Doble cierre mecánico					
59	Sensor de presión, 6 bar					
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
0	23.05.2018	Julio S.	Javier H.			
REV.	DATE	PREP.	APPR.			

Pump Curve



1	GENERAL				Manufacturer: GRUNDFOS
2	Type: Centrifugal Pump Model: CR3-2 A-A-A-E-HQQE				
3	Item No.: P515.01A/B		No. of pumps required: 2 Code: 96516590		
4	Liquid pumped		MPG		
5	Pumping Temp.(P.T)		35 °C		
6	Density at P.T.		1035.2 kg/m3		
7	Vapor Press. at P.T.		0.0002 bar g		
8	Viscosity at P.T.		52.88 cP		
9	Capacity				
10	Normal		1.34 m ³ /h		
11	Nominal		3 m ³ /h		
12	Suction Pressure		0.78 bar		
13	Discharge Pressure		1 bar		
14	Differential Pressure		0.22 bar		
15	Differential Head		4.3 m.l.c.		
16	N.P.S.H. Required		0.44 m.l.c.		
17	N.P.S.H. Available		5.6 m.l.c.		
17	Design Temperature		55 °C		Pump Drawing 
18	Max.Allow.working pressure		16 bar		
19	N.P.S.H.Required		0.44 m.l.c.		
20	Rot.freq.		50 Hz		
21	Power at Shaft		0.37 kW		
22	Efficiency		49.7 %		
23	Min.Cont.flow		m ³ /h		
24	Arrangement		Horizontal X Vertical		
25	Impellers		2		
26	Number of Stages		3		
27	Shaft seal arrangement		Single		
28	Suction diameter		25 mm		
29	Discharge diameter		25 mm		
30	Dimensions (mm)				
31	DIN Nozzle	B1	279		
32		B1+B2	470		
33		D1	141		
34		D2	109		
35	Motor Standard		IEC		
36	Motor Type		71A		
37	phi		0.8-0.7		
38	Nominal speed		2850-2880 rpm		
39	Nominal tension		3 x 220-240D/380-415Y V		
40	Start intensity		490-530%		
41	Mechanical Seal				Pump Curve 
42	Manufr.				
43	Type N°				
44	Classification code acc. API:				
45	Stuffing box packing				
46	Stuffing box pressure(eff.)		kg/cm ² g		
47	Lip Seal				
48	Base	Cast iron	Impulsor	AISI 304	
49	Base	EN 1561 EN-GJL-200	Material code	A	
50	Base	ASTM A48-25B	Code for rubber	E	
51	Impulsor	Stainless Steel	Bearing	SIC	
52	Impeller EN. 14301				
53	E-motor				
54	Installed Power		kW		
55	Rot.freq.		s ⁻¹		
56	Turbine				
57	Connection				
58	Hidrostatic test		kg/cm ² g		
59	NPSH test		m.w.c		
60					
61	Net weight		18 kg		
62	Gross weight		21 kg		
63					
64	Doble cierre mecánico				
65	Sensor de presión, 6 bar				
66					
67					
0	23.05.2018	Julio S.	Javier H.		
REV.	DATE	PREP.	APPR.		



4.3 Diseño y listado de instrumentos

En este apartado se describen los procedimientos de cálculo utilizados en el diseño de los instrumentos de la planta. También se adjunta el listado de instrumentos en la Tabla 4.12.

4.3.1 Válvulas de control

Se han diseñado las válvulas de regulación que llevan líquidos en la planta, con el objetivo de obtener los diferentes coeficientes C_v y así establecer unas pérdidas de carga aceptables y caudales límite. La literatura consultada es la de la referencia 5.

Para ello, es necesario determinar primero el tipo de flujo que pasa por la válvula. El criterio para determinar si el flujo es subcrítico o crítico consiste en comparar las pérdidas de carga que se han fijado para la válvula con el factor de criticidad ΔP_c . Si las pérdidas de carga (que se han fijado en un máximo del 10% de la presión de la línea) son inferiores al factor, se considera que el flujo es subcrítico y se puede dimensionar la válvula de manera habitual. Caso contrario, habría que utilizar formulas adaptadas. En el caso de las líneas del proceso, cuya presión de vapor es inferior a la presión de salida del líquido, se puede utilizar la expresión:

$$\Delta P_c = F_L^2 \cdot \{P_1 - P_v \cdot [0.96 - 0.28 \cdot \sqrt{P_c/P_v}]\} \quad (\text{E.4.19})$$

F_L se fija como 0.85, P_1 es la presión a la entrada de la válvula y P_c es la presión crítica del fluido. En todos los casos se ha cumplido que $\Delta P_{\text{real}} < \Delta P_c$, por tanto se puede definir el coeficiente C_v como:

$$C_v = \frac{1.17 \cdot q}{F_L \sqrt{\Delta P / G_f}} \quad (\text{E.4.20})$$

Dónde¹⁸:

q: caudal hidráulico [m^3/h]

ΔP : pérdida de carga de la línea [bar]

G_f : densidad específica del fluido [-]

F_L : factor de criticidad, fijado en 0.95 por la norma IEC 60354.

Con éste primer C_v calculado, se deben consultar las hojas de especificación de los modelos de válvula seleccionados; y escoger la C_v inmediatamente superior¹⁹ disponible para el diámetro deseado (éste acostumbra a ser equivalente a la mitad del diámetro de línea). Con el nuevo C_v (para evitar confusiones se llamará C_v') fijado y las dimensiones de la válvula, se debe recalculer el coeficiente F_L , que ahora se definirá como F_{LP} . Éste viene definido por la siguiente expresión:

$$F_{LP} = 1 / \sqrt{\frac{1}{F_L^2} + \left(\frac{C_v'}{30 \cdot d^2}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)} \quad (\text{E.4.21})$$

Dónde d y D son los diámetros de válvula y línea, respectivamente (en pulgadas).

En este punto, se debe recalculer el C_v de nuevo, sustituyendo F_L por F_{LP}/F_P en la ecuación E.4.21, y se debe comparar con el C_v' , para así obtener la relación de caudal nominal de la válvula:

$$\text{Relación caudal} = \frac{C_v}{C_v'} \quad (\text{E.4.22})$$

¹⁸ En el caso de la válvula de pinza, PV505.01, se ha aplicado un factor corrector adicional de x1.5 para compensar la tensión adicional que pueda generar el DMT presente en la corriente en forma de escamas/polvo.

¹⁹ Se debe procurar que el C_v escogido sea al menos un 20% mayor que el calculado.

Finalmente, con la curva característica de la válvula escogida, se pueden determinar los % de apertura relacionándolos con unos caudales máximos y mínimos definidos para la válvula. Se han fijado unos % de apertura de 20 y 90 como mínimo y máximo respectivamente.

Finalmente, también se debe comprobar la velocidad de salida de válvula con los diferentes caudales. Ésta se calcula con la fórmula elemental:

$$u = q/A \quad (\text{E.4.23})$$

Caudal (q) en m^3/s , área (A) en m^2 , velocidad (u) en m/s .

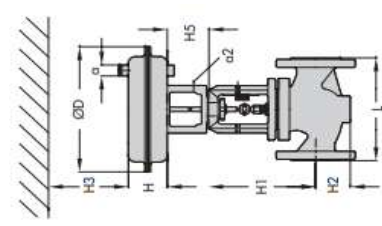

A continuación se adjuntan todos los resultados del cálculo de válvulas en la Tabla 4.9.

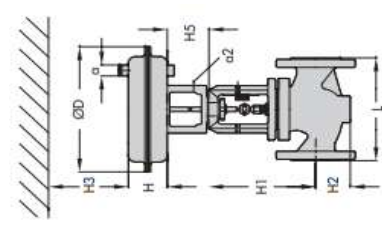

Tabla 4.8a. Resultados del diseño de válvulas (1).


Válvula	Línea asociada	q (m^3/h)	P_1 (bar)	P_{vap} (bar)	ΔP (bar)	ΔP_c (bar)	ρ (kg/m^3)	d valve (mm)
PV505.01	40-DIS-505.07-EC14	7.10	7.00	0.000	0.700	0.75	934.4	31
SV515.01	32-DIS-515.01-EC5	3.61	1.00	0.266	0.100	0.59	875.8	31
SV515.03	20-MPG-515.04- EC5	0.26	0.78	0.533	0.077	0.98	865.42	12
SV515.04	100-GLYW-515.16- BB5	19.7	1.00	0.023	0.100	0.98	1064.1	80
SV515.05	50-GLYW-515.19- BB5	8.46	1.00	0.023	0.100	0.75	1064.1	48

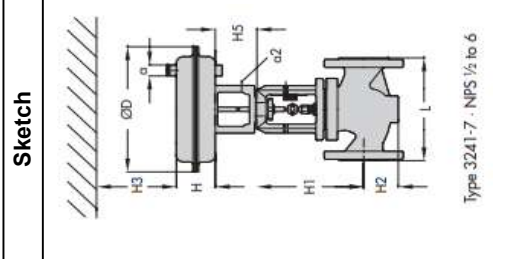
Tabla 4.8b. Resultados del diseño de válvulas (2).


Válvula	C_v				q (m^3/h) y % de apertura			u (m/s)		
	Mín	Nom.	Máx	Fijo	Mín	Nom.	Máx	Mín	Nom.	Máx
PV505.01	4.00	15.4	18.0	20	2.96 (20%)	7.20 (77%)	13.30 (90%)	1.09	2.65	4.90
SV515.01	4.00	13.2	18.0	20	1.15 (20%)	3.61 (66%)	5.19 (90%)	0.42	1.33	1.91
SV515.03	0.40	1.10	1.80	2	0.10 (20%)	0.26 (55%)	0.46 (90%)	0.25	0.65	1.13
SV515.04	24.0	79.4	108	120	6.28 (20%)	19.74 (66%)	28.27 (90%)	0.35	1.09	1.56
SV515.05	9.40	34.0	42.3	47	2.46 (20%)	8.46 (72%)	11.1 (90%)	0.38	1.30	1.70

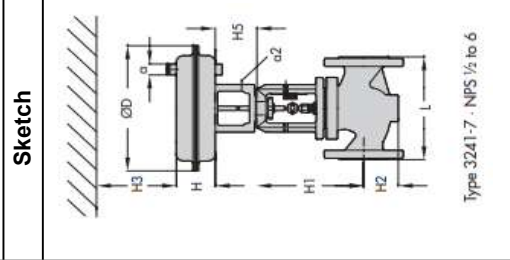
1	Hoja de especificación Válvula Reguladora									
2	Manufacturer: SAMSON									
3	Tipo de válvula: Válvula de globo Modelo: 3271									
4	TAG del equipo		SV515.01			Fluido		Mezcla de destilados		
5	Diagrama		P&iD 1020			Densidad (kg/m3)		875.8		
6	Servicio		Proceso			Viscosidad (cP)		1.8		
7	Tubería		25-DIS-515.01-EC5			Pc (bar)		215.2		
8	P línea (bar)		Trabajo	1	Diseño	2	Pvap (mmHg)		199.5	
9	T línea (°C)		Trabajo	67	Diseño	100	Tipo de flujo		Subcrítico	
10	Pressure Rating		Class 125			Caudal (m3/h)		3.61		
11	DN tubería (mm)		25							
12	Conexión		Bridada							
13	Diámetro asiento (mm)		31	Mín	20	Coefficiente Cv		Caudal de salida (m3/h)		Vel. de salida (m/s)
14	P entrada (bar)		1	Calc.	65	4.00		1.15		0.42
15	ΔP (bar)		0.1	Máx	90	13.2		3.61		1.33
16	F_L		0.95	Catálogo		18.0		5.19		1.91
17	Área de actuador		240 cm ²			Tipo		Diafragma		
18	D de diafragma		240 mm			Actuador		Neumático		
19	H		62 mm			Carác.		Lineal		
20	H3		110 mm			Rango		50:1		
21	H5		101 mm			Bonete		A351 CF3M		
22	a		M30 x 1.5			Asiento		A351 CF3M		
23	a2		-			Tapón		A351 CF3M		
24	Peso sin actuador		16 kg			Sello tapón		PTFE		
0	26.05.2018	Julio S.	Javier H.		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química					
REV.	DATE	PREP.	APPR.							

1	Hoja de especificación Válvula Reguladora									
2	Manufacturer: SAMSON									
3	Tipo de válvula: Válvula de globo Modelo: 3271									
4	TAG del equipo		SV515.03			Fluido		Monopropilenglicol		
5	Diagrama		P&iD 1020			Densidad (kg/m3)		865.42		
6	Servicio		Proceso			Viscosidad (cP)		0.0112		
7	Tubería		20-MPG-515.04-EC5			Pc (bar)		215.2		
8	P línea (bar)		Trabajo	0.8	Diseño	1.8	Pvap (mmHg)		400	
9	T línea (°C)		Trabajo	172	Diseño	200	Tipo de flujo		Subcrítico	
10	Pressure Rating		Class 125			Caudal (m3/h)		0.26		
11	DN tubería (mm)		20							
12	Conexión		Bridada							
13	Diámetro asiento (mm)		12	Mín	20	Coefficiente Cv		Caudal de salida (m3/h)		Vel. de salida (m/s)
14	P entrada (bar)		1	Calc.	55	0.4		0.1		0.25
15	ΔP (bar)		0.08	Máx	90	1.1		0.26		0.65
16	F_L		0.95	Catálogo		1.8		0.46		1.13
17	Área de actuador		240 cm ²			Tipo		Diafragma		
18	D de diafragma		240 mm			Actuador		Neumático		
19	H		62 mm			Carác.		Lineal		
20	H3		110 mm			Rango		50:1		
21	H5		101 mm			Bonete		A351 CF3M		
22	a		M30 x 1.5			Asiento		A351 CF3M		
23	a2		-			Tapón		A351 CF3M		
24	Peso sin actuador		7 kg			Sello tapón		PTFE		
0	26.05.2018	Julio S.	Javier H.		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química					
REV.	DATE	PREP.	APPR.							

1	Hoja de especificación Válvula Reguladora										
2	Manufacturer: SAMSON										
3	Tipo de válvula: Válvula de globo Modelo: 3271										
4	TAG del equipo		SV515.04			Fluido		Agua Glicolada			
5	Diagrama		P&iD 1020			Densidad (kg/m3)		1064.1			
6	Servicio		Utilities			Viscosidad (cP)		1.002			
7	Tubería		100-GLYW-515.16-BB5			Pc (bar)		215.2			
8	P línea (bar)		Trabajo	1	Diseño	2	Pvap (mmHg)		17.058		
9	T línea (°C)		Trabajo	5	Diseño	25	Tipo de flujo		Subcrítico		
10	Pressure Rating		Class 125			Caudal (m3/h)		19.74			
11	DN tubería (mm)		100								
12	Conexión		Bridada								
13	Diámetro asiento (mm)		80	Mín	20	Coefficiente Cv	24.0	Caudal de salida (m3/h)	6.280	Vel. de salida (m/s)	0.35
14	P entrada (bar)		1	Calc.	66	79.4	19.74	1.09			
15	ΔP (bar)		0.1	Máx	90	108.0	28.27	1.56			
16	F_L		0.95	Catálogo			120				
17	Área de actuador		240 cm ²			Tipo		Diafragma			
18	D de diafragma		240 mm			Actuador		Neumático			
19	H		62 mm			Carác.		Lineal			
20	H3		110 mm			Rango		50:1			
21	H5		101 mm			Bonete		A351 CF3M			
22	a		M30 x 1.5			Asiento		A351 CF3M			
23	a2		-			Tapón		A351 CF3M			
24	Peso sin actuador		37 kg			Sello tapón		PTFE			
0	26.05.2018	Julio S.	Javier H.		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química						
REV.	DATE	PREP.	APPR.								



1	Hoja de especificación Válvula Reguladora										
2	Manufacturer: SAMSON										
3	Tipo de válvula: Válvula de globo Modelo: 3271										
4	TAG del equipo		SV515.05			Fluido		Agua Glicolada			
5	Diagrama		P&iD 1020			Densidad (kg/m3)		1064.1			
6	Servicio		Utilities			Viscosidad (cP)		1.002			
7	Tubería		50-GLYW-515.19-BB5			Pc (bar)		215.2			
8	P línea (bar)		Trabajo	1	Diseño	2	Pvap (mmHg)		17.058		
9	T línea (°C)		Trabajo	5	Diseño	25	Tipo de flujo		Subcrítico		
10	Pressure Rating		Class 125			Caudal (m3/h)		8.46			
11	DN tubería (mm)		50								
12	Conexión		Bridada								
13	Diámetro asiento (mm)		48	Mín	20	Coefficiente Cv	9.4	Caudal de salida (m3/h)	2.46	Vel. de salida (m/s)	0.38
14	P entrada (bar)		1	Calc.	72	34	8.46	1.30			
15	ΔP (bar)		0.1	Máx	90	42.3	11.1	1.70			
16	F_L		0.95	Catálogo			47				
17	Área de actuador		240 cm ²			Tipo		Diafragma			
18	D de diafragma		240 mm			Actuador		Neumático			
19	H		62 mm			Carác.		Lineal			
20	H3		110 mm			Rango		50:1			
21	H5		101 mm			Bonete		A351 CF3M			
22	a		M30 x 1.5			Asiento		A351 CF3M			
23	a2		-			Tapón		A351 CF3M			
24	Peso sin actuador		20 kg			Sello tapón		PTFE			
0	26.05.2018	Julio S.	Javier H.		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química						
REV.	DATE	PREP.	APPR.								



4.3.2 Selección de purgadores

Los purgadores (o trampas de vapor) son un tipo de válvulas automáticas que filtran el condensado de las líneas de vapor. Su función es asegurar que no se desperdicia vapor en las operaciones de calentamiento. Éstas también ayudan a combatir posibles golpes de ariete en las tuberías de distribución de vapor. Existen tres tipos diferentes de trampas de vapor: mecánicas, termostáticas y termodinámicas. Para la aplicación concreta de la planta, que son dos líneas de vapor que sirven para calentar a) el intercambiador HX505 y b) la camisa térmica del depósito B-515, se ha decidido que la trampa sea de tipo termostático, ya que:

- La operación en planta será siempre intermitente (se descarta ya el tipo mecánico).
- Tienen una buena resistencia a la corrosión.
- Fácil mantenimiento.
- Tienen una resistencia aceptable al desgaste; a causa de la constante variación de cargas y especificaciones de calentamiento esto es muy importante, ya que si no las tensiones acumuladas de las tuberías y las válvulas pueden ser críticas.
- Estas trampas no se ven afectadas por grandes variaciones en la carga del condensado (a pesar de ser un *batch* definido, la planta será multiusos y por tanto las cargas generales y productos pueden ir cambiando bastante).
- En caso de falla, se pueden diseñar tanto para quedar en posición abierta como cerrada; esta versatilidad se valora positivamente en este tipo de procesos.

Se han dimensionado las tuberías de condensado respecto a las guías de la empresa TLV (ref. 6), que ofrece de forma orientativa a siguiente tabla en su página web:

Tabla 4.9. Selección de DN de la línea de condensado en función de su carga (TLV).

Máxima carga de condensado	Tamaño de la tubería a la salida del equipo
Menor a 200 kg/h	15 mm
200-500 kg/h	20 mm
0.5 – 1 t/h	25 mm
1 – 2 t/h	32 mm
2 – 3 t/h	40 mm
3 – 5 t/h	50 mm
Más de 5 t/h	65-100 mm

1	GENERAL				Hoja de especificación Trampa de Vapor			
2	Manufacturer: TLV							
3	Tipo de válvula: Trampa de vapor Termostática				Modelo: L21S, Bridada			
4	INFO. GENERAL		TR505.01		Curva de vapor saturado			
5	TAG del equipo		P&iD 1010					
6	Diagrama		HP Steam					
7	Servicio		20-COND-505.21					
8	Tubería		15 bar					
9	Presión tubería		190°C					
10	Temperatura tubería		20					
11	DN tubería		Condensado					
12	SPECS		Bridada					
13	Conexión		20 mm					
14	Tamaño		21 barg					
15	P máx de operación		0.1 barg					
16	P mín de operación		90% presión primaria					
17	Contrapresión máxima							
17	MATERIALES				Sketch			
18	No.	Descripción	Material	ASTM/AISI				
19	1	Cuerpo	Ac. Carbón	A105				
20	2	Cubierta	Ac. Carbón	A105				
21	3	Elemento X	Ac. Inox.	-				
22	4	Filtro interno/externo	Ac. Inox.	AISI304/430				
23	5	Empaque Porta Filtro	Hierro suave	AISI1010				
24	6	Porta Filtro	Ac. Carbón	A105				
25	7	Asiento de Válvula	Ac. Inox.	AISI420F				
26	8	Guía Elemento X	Ac. Inox.	AISI304				
27	9	Clip Sujeción	Ac. Inox.	AISI304				
28	10	Empaque Cubierta	Grafito/Inox	-				
29	11	Tornillo Cubiert	Ac. Carbón	AISI1045				
30	12	Placa de Identificación	Ac. Inox.	AISI304				
31	13	Brida	Ac. Carbón	-				
32	14	Bola Válvula Retención	Ac. Inox.	AISI440C				
32	DIMENSIONES		Tamaño 20 mm					
33			Clase ASME 150RF					
34			L 165 mm					
35			H 97 mm					
36			H1 52 mm					
37			Peso 3.9 kg					
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49	NOTAS				Capacidad de Descarga			
50	Posición de falla: ABIERTA							
51	<i>Permite que el condensador no quede retenido en el espacio del vapor.</i>							
52								
53								
54								
55								
56					<p>1. La presión diferencial es la diferencia entre la presión de entrada y la presión de salida de la trampa.</p> <p>2. Factor de seguridad recomendado: 2 mínimo.</p>			
57								
0	23.05.2018	Julio S.	Javier H.					
REV.	DATE	PREP.	APPR.					

1	GENERAL				Hoja de especificación Trampa de Vapor			
2	Manufacturer: TLV							
3	Tipo de válvula: Trampa de vapor Termostática				Modelo: L21S, Bridada			
4	INFO. GENERAL		TR515.01		Curva de vapor saturado			
5	TAG del equipo		P&iD 1020					
6	Diagrama		HP Steam					
7	Servicio		15-COND-515.18					
8	Tubería		15 bar					
9	Presión tubería		200					
10	Temperatura tubería		15					
11	DN tubería		Condensado					
12	SPECS		Bridada					
13	Conexión		15mm					
14	P máx de operación		21 barg					
15	P mín de operación		0.1 barg					
16	Contrapresión máxima		90% presión primaria					
17	MATERIALES		Sketch					
18	No.	Descripción	Material	ASTM/AISI				
19	1	Cuerpo	Ac. Carbón	A105				
20	2	Cubierta	Ac. Carbón	A105				
21	3	Elemento X	Ac. Inox.	-				
22	4	Filtro interno/externo	Ac. Inox.	AISI304/430				
23	5	Empaque Porta Filtro	Hierro suave	AISI1010				
24	6	Porta Filtro	Ac. Carbón	A105				
25	7	Asiento de Válvula	Ac. Inox.	AISI420F				
26	8	Guía Elemento X	Ac. Inox.	AISI304				
27	9	Clip Sujeción	Ac. Inox.	AISI304				
28	10	Empaque Cubierta	Grafito/Inox	-				
29	11	Tornillo Cubiert	Ac. Carbón	AISI1045				
30	12	Placa de Identificación	Ac. Inox.	AISI304				
31	13	Brida	Ac. Carbón	-				
32	14	Bola Válvula Retención	Ac. Inox.	AISI440C				
32	DIMENSIONES		Tamaño 15 mm					
33			Clase ASME 150RF					
34			L 165 mm					
35			H 97 mm					
36			H1 52 mm					
37			Peso 3.9 kg					
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44	NOTAS		Posición de falla: ABIERTA					
45			Permite que el condensador no quede retenido en el espacio del vapor.					
46								
47								
48								
49								
50					<p>1. La presión diferencial es la diferencia entre la presión de entrada y la presión de salida de la trampa.</p> <p>2. Factor de seguridad recomendado: 2 mínimo.</p>			
51								
52								
53								
54								
55								
56								
57								
0	23.05.2018	Julio S.	Javier H.					
REV.	DATE	PREP.	APPR.					

Tabla 4.11. Listado de válvulas de la planta.

TAG	DN (mm)	Tipo de válvula	Señal		Proveedor	Modelo / Serie	Descripción de la válvula	Material
BV505.01	40	Bola	DO	101	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.02	40	Bola	DO	102	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.03	40	Bola	DO	103	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.04	40	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.05	40	Bola	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.06	40	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.07	40	Bola	DO	104	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.08	40	Bola	DO	105	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.09	40	Bola	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.10	40	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.11	40	Bola	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.12	40	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.13	40	Bola	DO	106	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.14	40	Bola	DO	108	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.15	20	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.16	40	Bola	DO	109	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.17	40	Bola	DO	110	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.18	25	Bola	DO	111	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.20	40	Bola	DO	113	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.22	25	Bola	DO	116	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.23	40	Bola	DO	117	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.24	32	Bola	DO	118	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.25	32	Bola	DO	201	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.26	50	Bola	DO	202	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.27	32	Bola	DO	204	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.28	50	Bola	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408

TAG	DN (mm)	Tipo de válvula	Señal	Proveedor	Modelo / Serie	Descripción de la válvula	Material
BV505.29	20	Bola	DO 205	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.30	20	Bola	DO 206	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV505.31	25	Bola	DO 207	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.01	32	Bola	DO 208	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.02	32	Bola	DO 209	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.03	32	Bola	DO 211	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.04	50	Bola	DO 212	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.05	15	Bola	DO 213	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.06	50	Bola	- -	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.08	15	Bola	DO 215	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.09	15	Bola	DO 216	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.11	20	Bola	DO 217	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.12	20	Bola	DO 218	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.13	80	Bola	DO 221	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.14	20	Bola	DO 222	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.16	25	Bola	DO 223	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.17	25	Drenaje	- -	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.18	25	Bola	DO 224	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.19	20	Bola	DO 225	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.21	32	Bola	DO 226	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.22	32	Drenaje	- -	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.23	32	Bola	DO 227	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.24	100	Bola	DO 228	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.25	100	Bola	DO 229	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.26	100	Bola	- -	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.27	100	Bola	DO 231	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.28	32	Bola	DO 301	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408

TAG	DN (mm)	Tipo de válvula	Señal	Proveedor	Modelo / Serie	Descripción de la válvula	Material	
BV515.29	32	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.30	32	Bola	DO	302	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.31	32	Bola	DO	303	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.32	32	Bola	DO	304	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.33	32	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.34	32	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.35	32	Bola	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.36	32	Bola	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.37	32	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.38	32	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.39	32	Bola	DO	305	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.40	32	Bola	DO	306	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.41	50	Bola	DO	308	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.42	50	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.43	25	Bola	DO	309	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV251.01	32	Bola	DO	313	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV251.02	20	Bola	DO	314	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV251.03	20	Drenaje	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV251.04	25	Bola	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.46	25	Bola	-	-	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola manual	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.47	50	Bola	DO	311	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.46	50	Bola	DO	310	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
BV515.47	50	Bola	DO	311	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola automática	Seat PTFE/Ball S.S. 1.4408
TV505.01	32	3 vías	DO	112	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de triple vía	Inox. 316 AISI
CV505.01	25	Check	-	-	Swagelok	SS-16C-	Válvula antiretorno de asiento	Inox. 316 AISI
CV505.02	40	Check	-	-	Genebre	2406 08	Válvula antiretorno de disco	Inox. 316 AISI
CV505.03	40	Check	-	-	Genebre	2406 08	Válvula antiretorno de disco	Inox. 316 AISI

TAG	DN (mm)	Tipo de válvula	Señal	Proveedor	Modelo / Serie	Descripción de la válvula	Material	
CV505.04	25	Check	-	-	Swagelok	SS-16C-	Válvula antiretorno de asiento	Inox. 316 AISI
CV505.05	32	Check	-	-	Swagelok	SS-16C-	Válvula antiretorno de disco	Inox. 316 AISI
CV515.01	50	Check	-	-	Genebre	2406 09	Válvula antiretorno de disco	Inox. 316 AISI
CV515.02	25	Check	-	-	Swagelok	SS-16C-	Válvula antiretorno de asiento	Inox. 316 AISI
CV515.03	25	Check	-	-	Swagelok	SS-16C-	Válvula antiretorno de asiento	Inox. 316 AISI
CV515.04	100	Check	-	-	Genebre	2406 12	Válvula antiretorno de disco	Inox. 316 AISI
CV515.05	50	Check	-	-	Genebre	2406 09	Válvula antiretorno de disco	Inox. 316 AISI
CV515.06	25	Check	-	-	Swagelok	SS-16C-	Válvula antiretorno de asiento	Inox. 316 AISI
CV515.07	25	Check	-	-	Swagelok	SS-16C-	Válvula antiretorno de asiento	Inox. 316 AISI
CV515.08	25	Check	-	-	Swagelok	SS-16C-	Válvula antiretorno de asiento	Inox. 316 AISI
SV505.01	25	Asiento	AO	203	SAMSON	3271	Válvula de asiento reguladora, actuador neumático	Inox. A351 CF8M
SV515.01	32	Asiento	AO	210	SAMSON	3271	Válvula de asiento reguladora, actuador neumático	Inox. A351 CF8M
SV515.02	15	Asiento	AO	214	SAMSON	3271	Válvula de asiento reguladora, actuador neumático	Inox. A351 CF8M
SV515.03	15	Asiento	AO	219	SAMSON	3271	Válvula de asiento reguladora, actuador neumático	Inox. A351 CF8M
SV515.04	80	Asiento	AO	230	SAMSON	3271	Válvula de asiento reguladora, actuador neumático	Inox. A351 CF8M
SV515.05	50	Asiento	AO	312	SAMSON	3271	Válvula de asiento reguladora, actuador neumático	Inox. A351 CF8M
PV505.01	32	Pinch	AO	107	Red Valve	Series 5200	Válvula de pinza automática	ANSI B 16.5
PSV 505.01	32-50	Válvula de alivio	AO	114	Spirax Sarco	SV604	Válvula de alivio de presión	Cuerpo: Ac. Carb. GSC25 Asiento y disco: Inoxidable 1.4057
PSV 515.01	40-65	Válvula de alivio	AO	232	Spirax Sarco	SV604	Válvula de alivio de presión	Cuerpo: Ac. Carb. GSC25 Asiento y disco: Inoxidable 1.4057

TAG	DN (mm)	Tipo de válvula	Señal		Proveedor	Modelo / Serie	Descripción de la válvula	Material
PSV 515.02	32-50	Válvula de alivio	AO	233	Spirax Sarco	SV604	Válvula de alivio de presión	Cuerpo: Ac. Carb. GSC25 Asiento y disco: Inoxidable 1.4057
PSV 515.03	32-50	Válvula de alivio	AO	234	Spirax Sarco	SV604	Válvula de alivio de presión	Cuerpo: Ac. Carb. GSC25 Asiento y disco: Inoxidable 1.4057
BV505.19	25	Bola	DO	115	PEKOS	PN 16 F4-5	Válvula de bola flotante	Ac. Carb. A216WCC
EV505.01	32	Expansión	AO	109	Emerson	L Series	Válvula de expansión	Inox. 316 AISI
TR505.01	20	Trampa de Vapor	-	-	TLV	L21S	Trampa de vapor Termostática	Cuerpo: Ac. Carb. A105 Asiento: Inox. AISI304
TR515.01	15	Trampa de Vapor	-	-	TLV	L21S	Trampa de vapor Termostática	Cuerpo: Ac. Carb. A105 Asiento: Inox. AISI304
EV515.01	25	PAD-DEPAD	AO	220	Emerson	ACE 97	Válvula PAD-DEPAD	Acero Inoxidable A316
CPV 515.01	25	PAD-DEPAD	AO	220	Emerson	ACE 97	Válvula PAD-DEPAD	Acero Inoxidable A316
MV251.01	20	Mariposa	-	-	Emerson	Fischer 11	Válvula de mariposa	Acero Inoxidable A316

Nota: Todas las válvulas de bola actúan como válvulas de aislamiento.

4.4 Diseño del sistema de control

4.4.1 Bloque/Lazo 505

Este lazo comprende los siguientes equipos: P505.01A/B, CF505 y HX505.

La entrada al filtro CF505 está regulada por la válvula PV505.01, que regula su grado de apertura en función del caudal que mida FT505.01. Este sistema actúa para regular el caudal en caso de que se deba alterar la cantidad de destilado que entre a CF505, o bien las bombas estén enviando un caudal que CF505 no pueda filtrar de manera consistente.

El funcionamiento del propio filtro viene regido por dos señales concretas: la del turbidímetro TURB505.01 y los dos medidores de presión diferencial PT505.01/02. El turbidímetro actúa sobre la válvula de triple vía TV505.01; que inicialmente estará en posición de recirculación del corriente. Esta válvula no cambiará de posición (es decir, no se podrá enviar mezcla de destilados hacia el intercambiador HX505) hasta que la señal del turbidímetro no sea positiva (que significará que la turbidez ha alcanzado el punto en el cual se sabe que no existen restos de DMT en la corriente). Por otro lado, los medidores de presión diferencial controlan las salidas del filtro. Cuando estos marquen una bajada de la presión del 15% (una bajada de 6 barg a 5.1 barg), se abrirá la compuerta inferior del filtro, procediendo a vaciar la torta acumulada de DMT. No obstante, este vaciado sólo se puede realizar si la señal del turbidímetro también es positiva. Si se detecta una caída de presión notable sin que la turbidez del fluido sea aceptable, se aislará el filtro y se procederá a revisarlo, ya que esto significaría que existe algún problema de operación (probablemente que no se ha limpiado correctamente antes del ciclo).

El *backwash*²⁰ del filtro se realiza con nitrógeno, y su entrada se controla a través de la vía 25-NL-505.13-BB14. En caso de sobrepresión, se procederá a aliviar el sistema a través de la línea 25-MeOH-505.14-EC14. El disco de ruptura está tarado a 7.0 barg, y la PSV a 7.2 barg. De esta manera, la sección comprendida entre el disco y la PSV se encuentra en vacío, y en cuanto se rompa el disco empezará a actuar la PSV, con tiempo de actuación mínimo.

Cuando la corriente de destilados vaya del filtro al intercambiador HX-505, pasará antes por la válvula EV505.01, donde se reducirá la presión de la corriente a 1 bar (esta válvula recibe información sobre la presión del corriente a través de PT505.02). El intercambiador HX-505, por su parte, regula la cantidad de vapor utilizado en función de la temperatura de salida del caudal de destilados. Está fijado que la temperatura de salida del intercambiador debe estar sobre los 65°C (lo justo para que no empiece a evaporar la fracción de metanol que contiene), y en base a este *set-point*, SV505.02 regula el flujo de vapor mencionado anteriormente.

4.4.2 Bloque/Lazo 515

Este lazo comprende los siguientes equipos: B-515, D-515, COND-515, DR-515.01/02, HX-515, P515.01A/B.

La válvula SV515.01 regula el caudal que ingresa al reactor B-515 en función del nivel que LIT515.01 detecta dentro de dicho equipo. El caudal variará en función de las condiciones de operación específicas del proceso que se esté llevando a cabo, ya que la planta es multiusos. Dentro B-515, un medidor de radar guiado (LIT515.01) mide el nivel del depósito, que tiene como *set-points* máximo y mínimo unos niveles de 1.33 m y 0.58 m²¹.

En caso de fallada de este medidor, la alarma de alto nivel HLA505.01 actúa como enclavamiento de seguridad, cerrando completamente la entrada de destilado a B-515 si el nivel

²⁰ Fluido que se utiliza para vaciar las líneas internas del filtro y lavarlo.

²¹ Éstos son los niveles en los que se debería encontrar el tanque al inicio y final del proceso de destilado (65% y 28%) del metanol de manera segura. Lógicamente, estos niveles se ajustarán en función de las especificaciones y procesos que se lleven a cabo en la planta.

detectado en el reactor es superior al 90%. El motor del agitador del reactor sólo empezará a funcionar si LIT515.01 detecta el nivel mínimo del 20%. Adicionalmente, este reactor se calienta con una chaqueta térmica por la cual pasa vapor que condensa. El flujo de vapor que pasa por esta camisa es regulado por SV515.02, que es una válvula actuada por los transmisores de temperatura TT515.01 y TT515.03, que miden la temperatura del vapor y en el interior del reactor, respectivamente. La salida inferior del reactor se controla a partir de la temperatura de B-515 y su nivel. Cuando el nivel esté al 20% y al mismo tiempo la temperatura interna del reactor sea de 172.2°C se podrá asumir que la destilación se ha llevado a cabo satisfactoriamente y por tanto el interior del reactor contiene únicamente MPG pureza 99.5%. En cualquier caso, el tiempo de ciclo de la columna es de 12 horas, con lo cual también se puede abrir esta válvula (BV515.28) pasado dicho período.

Por lo que respecta a la columna D-515, ésta cuenta con la válvula SV515.03 que regula el reflujo de fondos que se devuelve al reactor. Adicionalmente se mide la presión en el condensador de columna (que debe ser de 0.8 barg) por motivos de seguridad. En caso de sobrepresión, EV515.01 y CPV515.01 (que actúan como PAD-DEPAD) pueden actuar como dispositivos de alivio de presión, dirigiendo la mezcla de gases contenidos hacia el colector de gases que está conectado con el *Scrubber* K660. Estos equipos también tienen la función de inertizar correctamente la columna con nitrógeno.

En el condensador COND-515 se regula la entrada de agua glicolada que se utiliza para refrigerar en función del caudal de salida que mida FT515.01. Adicionalmente la línea de agua glicolada cuenta con una alarma de temperatura por motivos de seguridad (TA515.01).

Las entradas a los *drums* de la columna son controladas por BV515.14/19. Estas válvulas actúan como un par que abre y cierra en función del nivel que se detecte en ambos depósitos. Como antes de cada ciclo se deben vaciar completamente los depósitos, es fácil definir unos *set-points* para cada drum en función de los cortes que se han definido para la columna. Concretamente, durante las cuatro primeras horas de destilación todo el caudal de salida del condensador se dirigirá a DR-515.01 (Metanol subproducto). Cuando el medidor de nivel detecte un nivel superior a 1.64 m (80% de llenado), se redirigirá todo hacia DR-515.02 (Metanol residuo). En caso de fallada de los medidores y posible sobrepresión, se dispone en ambos *drums* de PSVs preparadas para aliviar si fuera necesario.

Finalmente, por lo que respecta al enfriado del metanol, éste se lleva a cabo en HX-515, y se regula la cantidad de agua glicolada que debe utilizarse en función de la temperatura de salida del intercambiador. Se ha fijado como *set-point* que ésta no sea superior a 35°C.

4.4.3 Bloque/Lazo 251

Este lazo tan sólo engloba el depósito B-251. Se controla el nivel del tanque mediante LT251.01 y la temperatura interna con TT251.01. Si la temperatura interna del depósito es superior a 40°C, se enviará una señal adicional al medidor de temperatura de HX-515, ya que por encima de esta temperatura puede haber problemas de degradación del monopropilenglicol. La toma de muestras se realiza a través de MV251.01, y cuando se reciba la confirmación desde el laboratorio/departamento de calidad, se abrirá BV251.04 y se podrá enviar el producto a través de 50-MPG-251.04-EC5.

Tabla 4.12. Listado de instrumentos.

Instrumento	P&iD	Descripción del instrumento	Señal		Proveedor	Modelo	Serie
Explosímetros	1010/1020	Detector de atmósfera explosiva	-	-	Dräger	PEX	3000
FT505.01	1010	Medidor de flujo Coriolis	AI	107	Emerson	Promass	F300
FIC505.01	1010	Controlador - indicador de flujo	AO	107	OMEGA	FMI	100
PT505.01	1010	Transmisor de presión diferencial	AI	109	Emerson	Rosemount	3051T
PT505.02	1010	Transmisor de presión diferencial	AI	109	Emerson	Rosemount	3051T
PT505.03	1010	Transmisor de presión	DI	114	Emerson	Rosemount	3051T
RD505.01	1010	Disco de ruptura	-	-	Fike	AXIUS	SC
TURB505.01	1010	Turbidímetro	DI	112	Anisol	Optek	AF16-N
PIC505.01	1010	Controlador - indicador de presión	AO	109			
TT505.01	1010	Transmisor de temperatura (vaina)	AI	203	Siemens	Sitrans	TS
FIC505.02	1010	Controlador - indicador de flujo	AO	203	OMEGA	FMI	100
LIT251.01	1010	Medidor de nivel - Flotador	AI	210	OMEGA	LV	150
TT251.01	1010	Transmisor de temperatura (vaina)	AI	214	Siemens	Sitrans	TS
HLA 515.01	1020	Alarma de nivel alto - Vibratorio	AO	214	Endress Hauser	Liquiphant S	FTL71
FIC515.01	1020	Controlador -indicador de flujo	AO	210	OMEGA	FMI	100
MA515	1020	Motor Agitador	DO	235	Dietrich	Temperature Probe	
JT515.03	1020	Medidor de potencia	-	-	Dietrich	Glasslock®	
LIT515.01	1020	Medidor de nivel de radar guiado	AI	210	Endress Hauser	LevelFlex	FMP51
TT515.01	1020	Transmisor de temperatura (vaina)	AI	214	Siemens	Sitrans	TS
FIC515.02	1020	Controlador -indicador de flujo	AO	214	OMEGA	FMI	100
FIC515.03	1020	Controlador -indicador de flujo	A0	219	OMEGA	FMI	100
LIT515.02	1020	Medidor de nivel - Flotador	AI	219	OMEGA	LV	150
FIC515.04	1020	Controlador -indicador de flujo	AO	220	OMEGA	FMI	100
PT515.02	1020	Transmisor de presión	AI	220	Emerson	Rosemount	3051T
FT515.01	1020	Medidor de flujo Coriolis	AI	230	Emerson	Promass	F300

Instrumento	P&iD	Descripción del instrumento	Señal	Proveedor	Modelo	Serie
FIC515.05	1020	Controlador -indicador de flujo	AO 230	OMEGA	FMI	100
PT515.03	1020	Transmisor de presión	AI 233	Emerson	Rosemount	3051T
PT515.04	1020	Transmisor de presión	AI 234	Emerson	Rosemount	3051T
LIT515.03	1020	Medidor de nivel de radar guiado	AI 222	Endress Hauser	LevelFlex	FMP51
LIT515.04	1020	Medidor de nivel de radar guiado	AI 225	Endress Hauser	LevelFlex	FMP51
XY505.01	1010	Variador de frecuencia - bomba	DO 119			
JT505.01	1010	Indicador de revoluciones - bomba	AI 120	Grundfos		
SY505.01	1010	Transmisor de revoluciones - bomba	AO 121			
XY505.02	1010	Variador de frecuencia - bomba	DO 122			
JT505.02	1010	Indicador de revoluciones - bomba	AI 123	Grundfos		
SY505.02	1010	Transmisor de revoluciones - bomba	AO 124			
XY515.01	1020	Variador de frecuencia - bomba	DO 236			
JT515.01	1020	Indicador de revoluciones - bomba	AI 237	Grundfos		
SY515.01	1020	Transmisor de revoluciones - bomba	AO 238			
XY515.02	1020	Variador de frecuencia - bomba	DO 239			
JT515.02	1020	Indicador de revoluciones - bomba	AI 240	Grundfos		
SY515.02	1020	Transmisor de revoluciones - bomba	AO 241			
PT515.05	1020	Transmisor de presión	AI 242	Emerson	Rosemount	3051T
RD515.01	1020	Disco de ruptura	- -	Fike	AXIUS	SC
TA515.01	1020	Alarma de temperatura	DI 243	Siemens	Sitrans	TS
TT515.02	1020	Transmisor de temperatura (vaina)	AI 312	Siemens	Sitrans	TS
TT515.03	1020	Transmisor de temperatura (vaina)	AI 244	Siemens	Sitrans	TS
FIC515.06	1020	Controlador -indicador de flujo	AO 312	OMEGA	FMI	100

4.5 Diseño de equipos

En este apartado se describen los procedimientos que se han llevado a cabo en el diseño de los diferentes equipos (más grandes) de la planta. A modo de resumen, se adjunta la tabla 4.13 como referencia de los equipos del proceso.

Tabla 4.13. Listado de equipos del proceso.

TAG	Descripción	P&iD	Sust.	Material	Parámetros de operación	Parámetros de diseño
P505.01	Bomba centrífuga	1010	Mezcla		P = 1.1 kW	Q = 7.31 m ³ /h
CF-505	Filtro de velas	1010	Mezcla	SS 304L	ΔP adm.: 15%	
HX-505	Intercambiador de calor	1010	Mezcla	SS 304L	BEU; 1.6 m ²	T salida = 65°C.
B-515	Calderín de la columna	1020	Mezcla	SS 304L	Chaqueta térmica, 180°C	Pureza MPG 99.5%
D-515	Columna empacada	1020	Mezcla	SS 304L	Ver apartado de diseño.	
COND-515	Condensador	1020	MeOH	SS 304L	BEM, 26.2 m ²	Condens. Total, θ 30°
DR-505.01/02	Drum de destilados	1020	MeOH	SS 304L	-	-
HX-515	Intercambiador de calor	1020	MPG	SS 304L	AEU, 17.7 m ²	T salida = 35°C.
P515.01	Bomba centrífuga	1020	MPG	SS 351 CF 8 M	P = 0.37 kW	Q = 1.34 m ³ /h
B-251	Depósito de MPG	1010	MPG	SS 304L	V = 40.1 m ³ t = 5 mm	Capacidad de 14 días.

4.5.1 *Candle Filter CF-505*

El filtro de vela CF-505 es el equipo en el cual se separa la fracción sólida de DMT del resto de residuo de destilado. El dimensionado del filtro se realiza en base al volumen que éste puede soportar: el volumen de destilados que se acumula por lote equivale a unos 7 m³; por tanto es importante seleccionar un filtro que pueda albergar esa cantidad.

Las especificaciones del filtro (página siguiente) se han realizado teniendo en cuenta los balances de materia de la planta y las características del filtro FUNDABAC del catálogo de la empresa Dr.M, que dicta las dimensiones y capacidad máxima de “torta” del filtro.

No se ha simulado la operación del filtro CF-505 ya que el único parámetro de interés que se puede obtener es el perfil de pérdidas de carga; que en cualquier caso es irrelevante ya que se da por finalizado el ciclo de filtrado siempre que se detecte una caída del 15% de la presión inicial de filtrado.

El porcentaje de residuo DMT filtrado en esta etapa es del 99.99%. Este residuo se va acumulando en las paredes del filtro en forma de “torta”, que, una vez finalizada la etapa de filtración, se sacude para que caiga al fondo del recipiente. Estos residuos van a parar a un contenedor especializado, donde finalmente se envían para su incineración.

FILTER DATA SHEET

Equipment: Candle Filter CF-505											
1	OPERATIONAL PERFORMANCE	DATA			FEED		FILTRATE		BACKWASH		CAKE
2		Fluid			Process Mixture		Process Mixture		Nitrogen 6 bar g		DMT
3		Flow Process Basis		Kg/h	6666		6666		-		333
4		Density		Kg/m3	934.395		925.346		-		1146.01
5		Viscosity		cP	1.87205		1.84505		-		6.03
6		Solids in stream		wt%	5.00%		0.00%		-		
7		Particle Size (Avg)		microns	5						
8		Normal	Max Oper Press	bar (eff.)	6	7	5.1	5.1	6	6	-
9		Normal	Max Oper Temp	°C	25	60	25	60			-
10		Allowable Pressure Drop		bar	0.9						
11		Nominal/Maximum Cake Volume and thickness: L 25.0 / 33.0 & 20/25 mm									
12		Cycle: precoat preparation time;			h	2					
13		Filter aid preparation time;			h	Previously mixed with the fluid					
14		Filtering time;			h	1					
15		Cleaning / Backwash time:			h	1					
16		Total time between successive filter cycles:			h	24					
17	DESIGN				Shell	Filter	Heads			Code:	EN13445
18		Design Pressure(eff.)		bar	7/-1	7/-1				Material:	AISI 316L
19		Design Temperature		°C	100	100				Radiograph:	Spot
20		Hydrostatic Test (eff)		bar	8.4	8.4				Stress Relieve:	-
21		Corr.Allow.: Shell / Heads		mm	0	0	0			Paint:	No
22		Insulation			No						Suitable for ATEX Zone 2
23	CONSTRUCTION	Filter Vessel	AISI 316L	Vertical	Size		Total Height: 1000 mm Diameter Outside: 300 mm				
24		Internals: Candle	Total Area:	1 m2	No. Req'd	3	Length: 760 mm	Spacing: 140 mm			
25		Supports	3 brackets on cylinder			Bolts	DIN 931(5.6)		Nuts	DIN 932(5-2)	
26		Element or Leave Pore Size (Avg.)	3 microns			Minimum Particle Size Retained			3 microns		
27		Maximum Cake Thickness	25 mm			Gross Filter Volume			70 m3		
28		Filter Fabric; Material	AISI 316L			<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Planta</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Alzado</p> </div> </div>					
29	Other Accessories:	NO									
30	Weight Empty/Full of Water	30 kg / 100 kg									
31	NOZZLE SCHEDULE	Service	Mark	No	Size	Rtg.					
32		Inlet	I	1	40	PN16					
33		Outlet	O	1	40	PN16					
34		Discharge Outlet	O	2	300	PN16					
35		Pressure Gage	N	2	15	PN16					
36		Relief Valve	V	2	32	PN16					
37		Vent	V	1	25	PN16					
38		Gas Inlet	N	1	25	PN16					
39		Liquid Outlet	N	3	20	PN16					
40	MATERIALS	Item	Thickness	Mat'l Class							
41		Filter Heads	- mm	AISI 316L							
42		Filter Shell	- mm	AISI 316L							
43		Lining	- mm	AISI 316L							
44	Internals	AISI 316L									
45	Manufacturer: DrM										
46	Type: FUNDABAC ® Model: R-000.5-3-630/T140Z										
0			21.05.18	Julio S.	Javier H.						
			04.04.18	Julio S.							
REV.			DATE	PREP.	APPR.						
						<p>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química</p>					

4.5.2 Intercambiadores de calor

A lo largo del proceso, son necesarios los intercambiadores de calor para asegurar que se pueden cumplir los requisitos de cambio de temperatura de manera rápida, viable y eficaz. Todos los intercambiadores se han diseñado siguiendo las indicaciones de la normativa TEMA²²(ref. 7). Para el dimensionamiento de todos los intercambiadores, se han utilizado los caudales reales que circulan en función del tiempo de ciclo de cada grupo de operaciones unitarias.

Todos los intercambiadores se han dimensionado, diseñado y simulado utilizando el programa *Aspen Exchanger Design & Rating*® v10.

Algunos de los criterios que se han tenido en cuenta en el diseño de los intercambiadores son los siguientes:

- Se han ajustado todas las dimensiones calculadas por el simulador a estándares industriales (longitud de tubos, diámetro, espesores, espaciado de *baffles*....).
- Se ha fijado la pérdida de carga máxima (ΔP), tanto para el lado de los tubos como para el de la carcasa, con un valor del 15% de la presión de entrada.
- Se busca priorizar velocidades de paso de 0.5 – 1 m/s para fluidos líquidos y 20-30 m/s para vapores/gases.
- Se han adoptado los coeficientes de *fouling* más restrictivos para todos los casos, para así tender al sobredimensionamiento que se busca en una planta *Batch* de estas magnitudes.
- El material utilizado para todos los intercambiadores es acero inoxidable 304 L.
- Los coeficientes de *fouling* no se han calculado, se han usado valores aproximados (ref. 8)
- A la hora de determinar el lado que debe ocupar cada fluido (tubo o carcasa), se han tenido en cuenta las siguientes (ref. 9) guías²³:
 - El fluido de alta presión debe ir en el lado de los tubos, para minimizar el coste del intercambiador.
 - El fluido con mayor tendencia a ensuciarse (*fouling*) debe ir en el lado de los tubos.
 - El fluido con una mayor pérdida de carga debe ir en el lado de la carcasa. La gran mayoría de combinaciones de *baffles*, cabezales y cortes es capaz de reducir la pérdida de carga de manera considerable.

4.5.2.1 Intercambiador HX-505

El intercambiador HX-505 se encuentra a la salida del filtro CF-505 y antes de llegar a la entrada del calderín B-515. Actúa como unidad de precalentamiento antes de la carga al ciclo de destilación, dejando la mezcla tan sólo unos grados por debajo de su punto de ebullición (66°C).

4.5.2.2 Intercambiador HX-515

El intercambiador HX-515 está a la salida del calderín B-515, y sirve para enfriar todo el caudal de MPG producto que se envía como producto, después de destilar todo el metanol y agua presentes anteriormente. Reduce la temperatura inicial de 172°C hasta 35°C, que es la

²² TEMA: *Tubular Exchanger Manufacturers' Association*

²³ La mayoría de estos criterios son heurísticos, y por ende, si la configuración del intercambiador lo requiere, se pueden modificar. De hecho, algunos de ellos pueden ser contrarios entre sí.

temperatura idónea para poder almacenar MPG evitando el riesgo de degradación que éste puede sufrir si se encuentra por encima de 40°C.

4.5.2.3 Condensador COND-515

El condensador COND-515 es un equipo imprescindible en el proceso, ya que permite que todo el destilado que sale por la cabeza de la columna llegue a los *drums* en fase líquida y no vapor. Los condensadores, por definición, son equipos que deben afrontar caudales de producto altamente variables; no obstante este efecto se intensifica²⁴ en una planta *Batch*. La elección del lado en el cual se lleva a cabo la condensación es más compleja que en los intercambiadores de carcasa. Para ello, se ha seguido el siguiente esquema como guía:

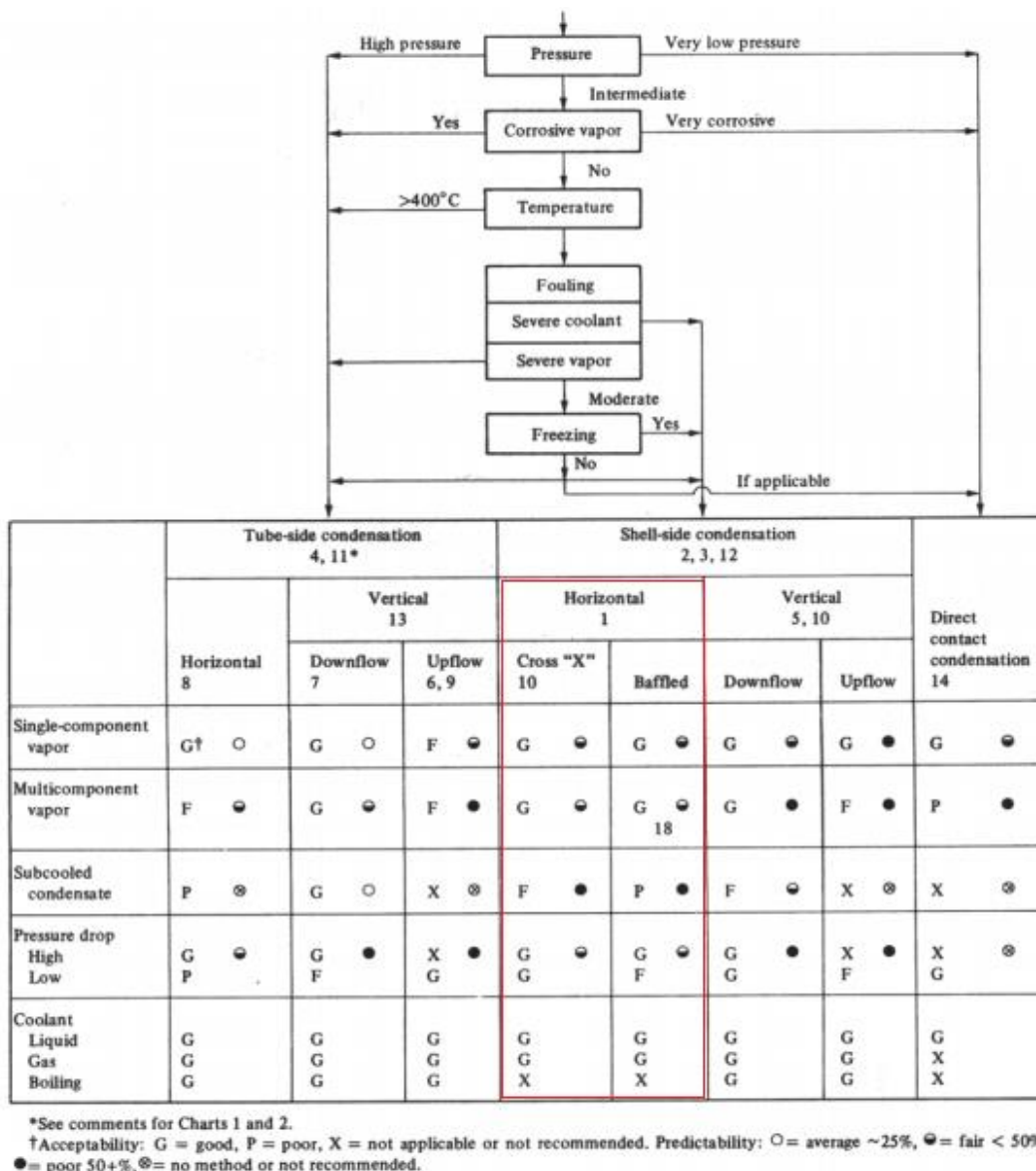



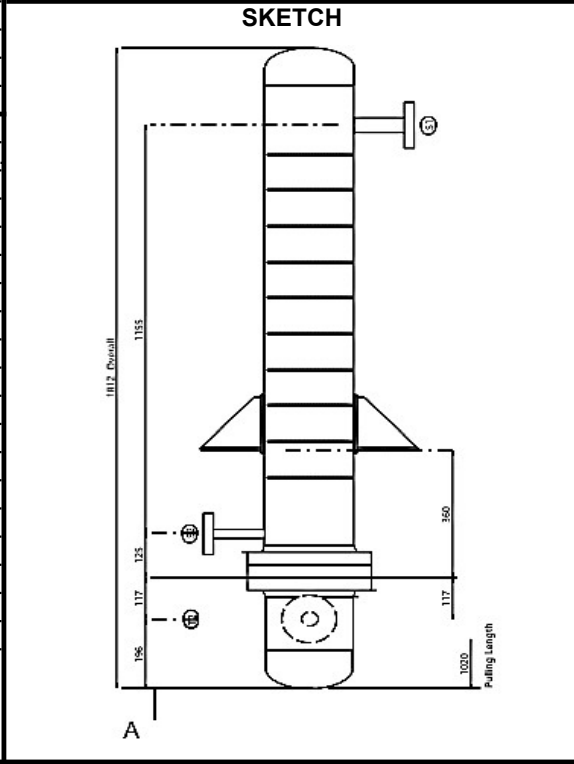
Figura 4.3. Esquema de decisión del tipo de condensación a llevar a cabo.

Siguiendo la figura se determina que la elección correcta es condensar en el lado de la carcasa, (baja presión, temperatura no superior a 400°C, poca corrosión). No obstante, se ha incorporado un ángulo de inclinación de 30°, siguiendo los estándares industriales de Clariant.

²⁴ De hecho, como referencia, según simulación, el caudal máximo que puede llegar a destilarse en la columna es hasta 20 veces más grande que el caudal mínimo, y al menos 1.5 veces más grande que el caudal promedio.

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

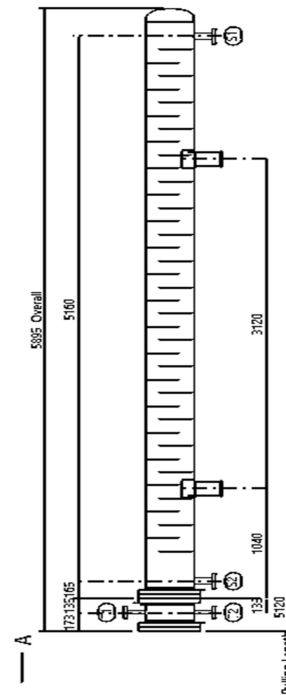
1	ITEM No.: HX505					
2	Service: Intercambiador previo a la entrada de B515.					
3	Type: BEU 1 Series	Position: Vertical Total surface / unit: 1.60 (m ²)				
4	No. Shell: 1 Shell					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6		Shell side				
7		Tube side				
8	Fluid name	Steam 15 bar / Process Fluid				
9	Fluid total flow	kg/h / 243 / 3164				
10	Vapour	kg/h / 0 / 0				
11	Liquid	kg/h / 3164 / 3164				
12	Steam	kg/h / 243 / 0				
13	Water	kg/h / 0 / 243				
14	Temperature	°C / 200 / 186.2 / 20 / 66.56				
15	Density (V/L)	kg/m ³ / 6.87 / /820.1 / 931.15 / 876.3				
16	Viscosity (V/L)	cP / 0.0164 / /0.1438 / 2.1212 / 0.7713				
17	Vapour molecular weight	18.02				
18	Specific heat (V/L)	kcal/kg.°C / 0.4633 / /1.3414 / 0.7812 / 0.8119				
19	Thermal conductivity (V/L)	kcal/h.m.°C / 0.029 / /0.58 / 0.177 / 0.17				
20	Latent heat	kcal/kg / 464.4				
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g) / 14.296 / 14.29 / 0.02 / 0.01				
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s / - / 0.97 / - / 0.35				
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ² / 2.294 / 0.006 / 0.153 / 0.01				
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal / 0.0001 / 7.00E-05				
25	Heat exchanged:	(kcal/h) / 117080				
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 481 / Clean: 524.9				
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes: ASME VIII Div 1	Shell side / Tube side				
29	Design pressure kg/cm ²	17.335 / 3.059				
30	Design temperature °C	235 / 100				
31	No. of passes	1 / 2				
32	Stress relief					
33	Radiograph.	Spot / Spot				
34	Corrosion allowance mm	2 / 2				
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating	Orientation
36		Tube Inlet	T1	32	PN16	Left Side
37		Tube Outlet	T2	32	PN16	Right Side
38		Shell Inlet	S1	32	PN16	Top
39		Shell Outlet	S2	20	PN16	Bottom
40		Vent	V1	25	PN16	Top
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS					
46	ID	OD	Thick. (mm)	Spec. Mat		
47	Shell:	212.6	221	4.2	SS 304L	
48	Channel:	200		8	SS 304L	
49	Tubesheets:	Normal			SS 304L	
50	Baffles: n° / mat.				10 / SS 304L	
51	Baffles spacing:	101.6 mm.				
52						
53	Tubes:					
54	N°	16				
55	OD	25.4 inches				
56	BWG:	14				
57	Length	1200 mm.				
58	Pitch: 30 Δ	31.75 mm.				
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
1		21.05.18	Julio S.	Javier H.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química	
0		04.04.18	Julio S.			
REV.		DATE	PREP.	APPR.		



HEAT EXCHANGER DATA SHEET

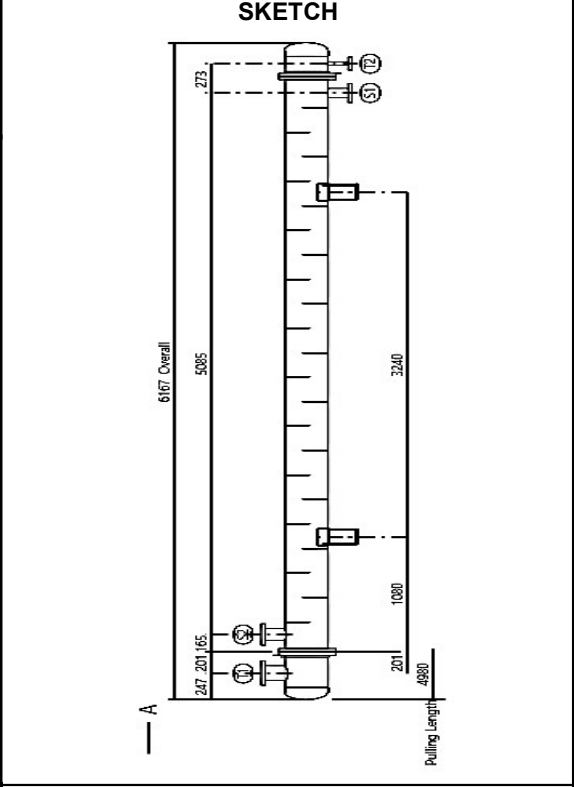
1	ITEM No.: HX515				
2	Service: Intercambiador para rebajar la temperatura de producto MPG en el bloque 515.				
3	Type:	AEU	1 Series	Position: Horizontal	Total surface / unit: 17.7 (m ²)
4	No. Shell:	1 Shell			
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6		Shell side		Tube side	
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name	Glycol Water (40%)		MPG	
9	Fluid total flow	9000		1366	
10	Vapour				
11	Liquid	9000	9000	1366	1366
12	Steam				
13	Water				
14	Temperature	°C	5	22.64	172
15	Density (V/L)	kg/m ³	/ 1064.09	/ 1046.84	/ 865.8
16	Viscosity (V/L)	cP	/ 2.5676	/ 1.5557	/ 0.7136
17	Vapour molecular weight				
18	Specific heat (V/L)	kcal/kg.°C	/ 0.7989	/ 0.8109	/ 0.7588
19	Thermal conductivity (V/L)	kcal/h.m.°C	/ 0.3	/ 0.307	/ 0.167
20	Latent heat	kcal/kg			
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	1.02	0.971	0.816
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	-	0.15	-
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0.153		0.122
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0.00021		0.00058
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	127763		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 100.2	Clean: 110.2		
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes: ASME VIII Div 1	Shell side	Tube side		
29	Design pressure kg/cm ²	3.059	3.059		
30	Design temperature °C	60	210		
31	No. of passes	1	8		
32	Stress relief				
33	Radiograph.	Spot	Spot		
34	Corrosion allowance mm	2	2		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating
36		Tube Inlet	T1	20	PN 16
37		Tube Outlet	T2	20	PN 16
38		Shell Inlet	S1	50	PN 16
39		Shell Inlet	S2	50	PN 16
40		Drain	D1	50	PN 16
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS				
46		ID	OD	Thick. (mm)	Spec. Mat
47	Shell:	317.6	326	4	SS 304L
48	Channel:	317.6		5	SS 304L
49	Tubesheets:	Normal			SS 304L
50	Baffles: n° / mat.			39	SS 304L
51	Baffles spacing:	125 mm.			
52					
53	Tubes:				
54	N°	42			
55	OD	25.4 mm.			
56	BWG:	14			
57	Length	5200 mm.			
58	Pitch: 30△	31.75 mm.			
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
1		21.05.18	Julio S.	Javier H.	
0		04.04.18	Julio S.		
REV.		DATE	PREP.	APPR.	

SKETCH



HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM No.:	COND 515			
2	Service:	Condensador de la columna D515			
3	Type:	BEM	1 Series	Position: $\theta = 30^\circ$	Total surface / unit: 26.2 (m ²)
4	No. Shell:	1 Shell			
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6		Shell side		Tube side	
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name	Glycol Water (40%)		MeOH	
9	Fluid total flow	26500		2195	
10	Vapour	kg/h			
11	Liquid	kg/h	26500	26500	2195 2195
12	Steam	kg/h			
13	Water	kg/h			
14	Temperature	°C	5	35.41	78 53.34
15	Density (V/L)	kg/m ³	/ 1064.09	/ 1034.17	0.84 / / 770.13
16	Viscosity (V/L)	cP	/ 2.5676	/ 1.1411	0.0116 / / 0.4057
17	Vapour molecular weight				30.66
18	Specific heat (V/L)	kcal/kg.°C	/ 0.7989	/ 0.8215	0.3625 / / 0.8062
19	Thermal conductivity (V/L)	kcal/h.m.°C	/ 0.3	/ 0.31	0.018 / / 0.171
20	Latent heat	kcal/kg			285.3 274.32
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	1.02	0.971	0.816 0.723
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	-	0.51	- 25.63
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0.153	0.102	0.122 0.092
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0.00021		0.00021
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	652289		
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 6453	Clean: 933.2		
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes: ASME VIII Div 1	Shell side	Tube side		
29	Design pressure kg/cm ²	3.059	3.059		
30	Design temperature °C	70	115		
31	No. of passes	1	1		
32	Stress relief				
33	Radiograph.	Spot	Spot		
34	Corrosion allowance mm	2	2		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia.	Rating
36		Tube Inlet	T1	125	PN16
37		Tube Outlet	T2	25	PN16
38		Shell Inlet	S1	80	PN16
39		Shell Outlet	S2	100	PN16
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS				
46		ID	OD	Thick. (mm)	Spec. Mat
47	Shell:	266.6	273	3.2	SS 304L
48	Channel:	266.6		3.2	SS 304L
49	Tubesheets:	Normal			SS 304L
50	Baffles: n° / mat.			22	SS 304L
51	Baffles spacing:	230 mm.			
52					
53	Tubes:				
54	N°	82			
55	OD	19.05 mm.			
56	BWG:	14			
57	Length	5400 mm.			
58	Pitch: 30△	23.81 mm.			
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
1		21.05.18	Julio S.	Javier H.	
0		04.04.18	Julio S.		
REV.		DATE	PREP.	APPR.	




UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
 Departament d'Enginyeria Química

4.5.3 Columna de destilación de metanol D515

4.5.3.1 Fundamentos teóricos y consideraciones

La columna D-515 es una columna empacada, que es capaz de separar el MPG del agua y MeOH presentes en la mezcla debido a la diferencia de puntos de ebullición.

En una columna Batch no existe una alimentación como tal (como pasa en los procesos continuos), si no que se carga por lotes el calderín inferior (también llamado *reboiler* o *pot*) y se va destilando hasta obtener las concentraciones de producto deseadas (X_D y X_B , como fracciones molares de destilado y fondo, respectivamente). Dentro de la columna se generan en cada etapa diferentes equilibrios líquido-vapor, que permiten que esto sea posible aprovechando las diferentes volatilidades²⁵ de los compuestos. En la figura 4.4 se adjunta uno de los primeros esquemas planteados.

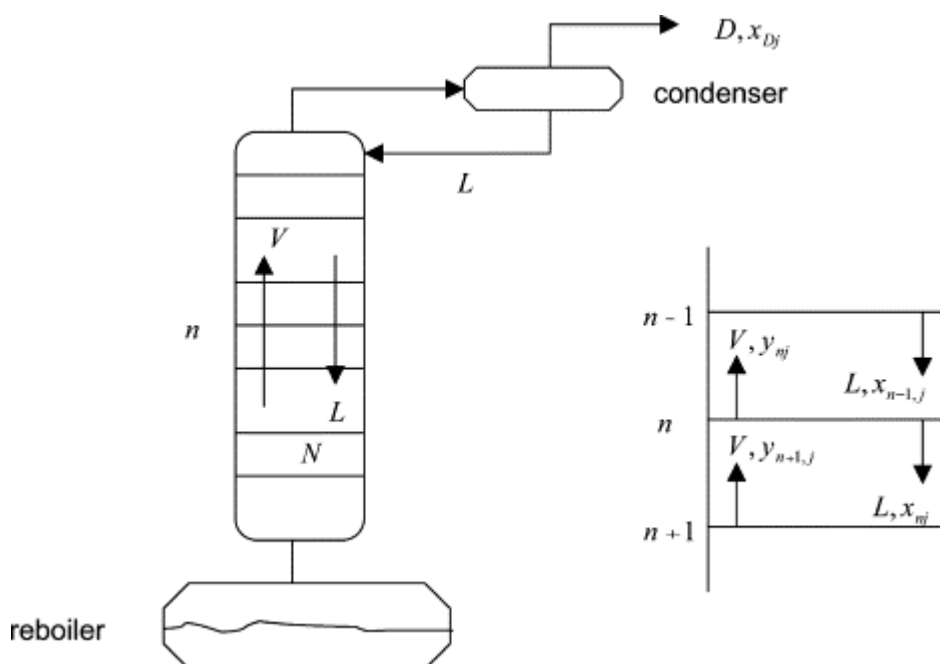


Figura 4.4. Esquema del funcionamiento de una columna Batch.

A la entrada de la columna, están presentes tres compuestos: Monopropilenglicol, Metanol y Agua (puede considerarse el DMT como negligible). Entre estos tres compuestos no existen azeótropos²⁶ posibles, así que se plantea la destilación como un equilibrio MeOH-H₂O, en el cual se irá extrayendo metanol y agua hasta dejar una fracción de MPG puro en el calderín.

El equilibrio Metanol-Agua ha sido exhaustivamente estudiado a lo largo de los años. De estos estudios se extrae información muy relevante que debe tenerse en cuenta para plantear la destilación de estos dos compuestos (refs. 10, 11 y 12).

La alimentación de la columna debe ser completamente líquida ($\psi = 0$), puesto que una entrada sobrecalentada (es decir, ya en estado vapor) hace que el equilibrio no llegue hasta los niveles de pureza 99.5% que se buscan. Este fenómeno se ilustra en las figuras 4.5, 4.6 y 4.7 donde se comparan las composiciones de un equilibrio MeOH-H₂O con diferentes fases de entrada. Adicionalmente, alimentar la columna con fracción líquida es más eficiente energéticamente.

²⁵ **Volatilidad:** tendencia de un líquido a vaporizarse.

²⁶ **Azeótropo:** punto de una mezcla en que ambos componentes hierven a temperatura constante, es decir, es aquel punto en un equilibrio L-V en que las fracciones de vapor de ambos componentes son la misma.

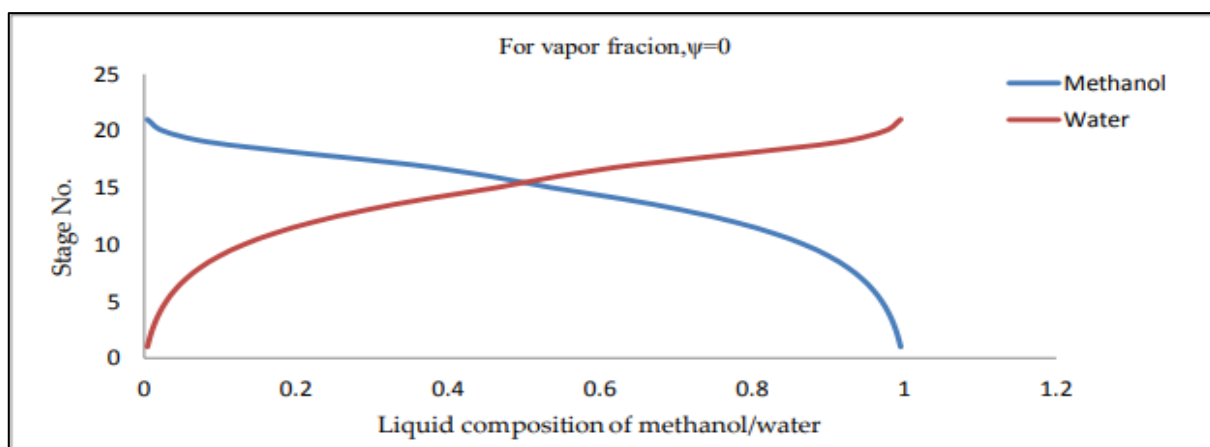


Figura 4.5. Perfil de composiciones líquidas del equilibrio MeOH-H₂O. ($\psi = 0$)

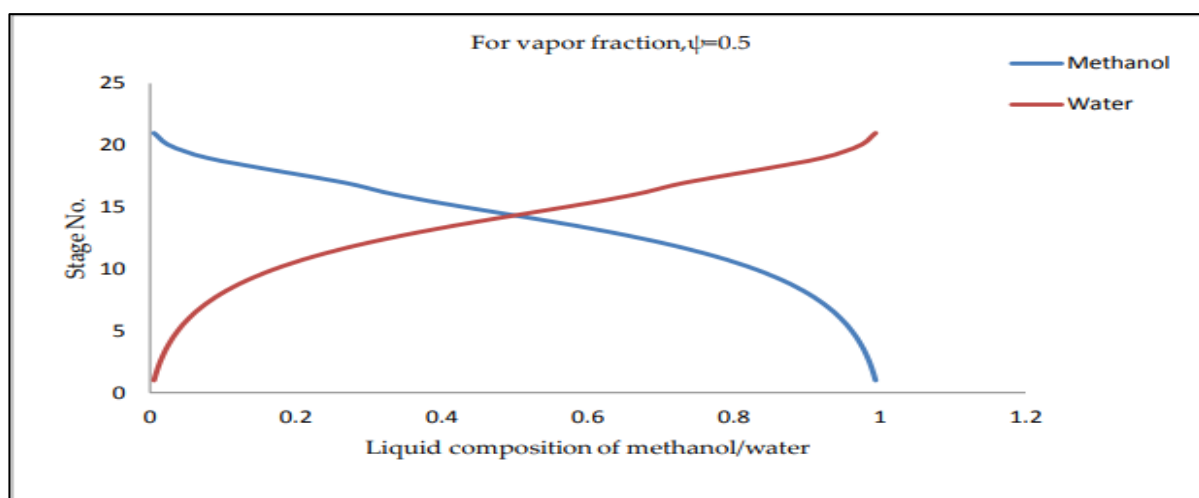


Figura 4.6. Perfil de composiciones líquidas del equilibrio MeOH-H₂O. ($\psi = 0.5$)

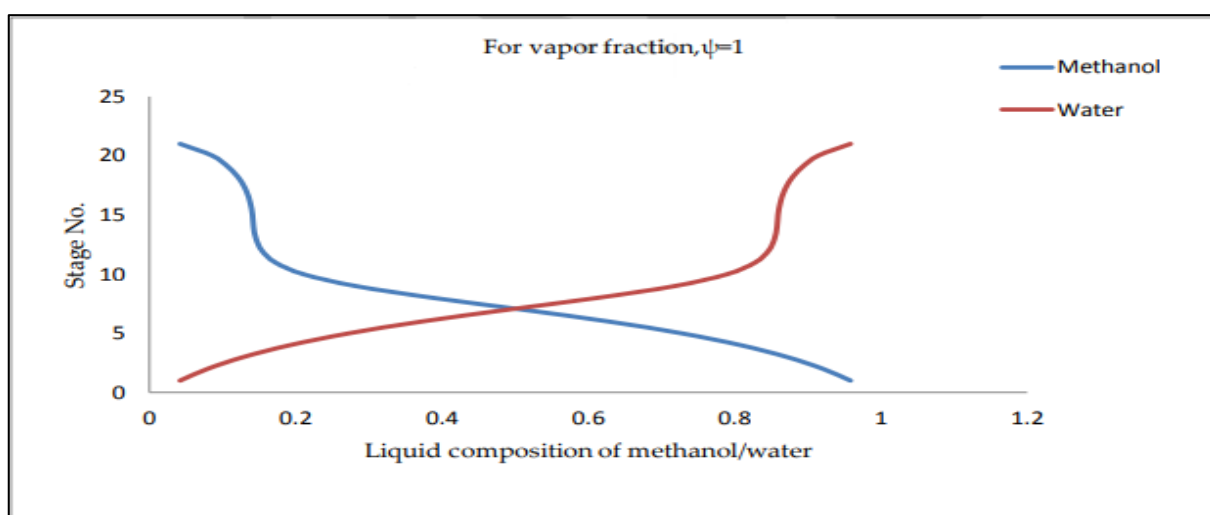


Figura 4.7. Perfil de composiciones líquidas del equilibrio MeOH-H₂O. ($\psi = 1.0$)

La destilación del equilibrio MeOH-H₂O se suele llevar a cabo a presión atmosférica o inferiores, ya que esto permite reducir la fracción de reflujo necesaria en la destilación. Sobre esto se han llevado a cabo pruebas en el apartado posterior. Finalmente, se adjunta la figura 4.8 para ilustrar cómo se comporta el equilibrio MeOH-MPG, también importante para el balance de materia de la columna y su diseño.

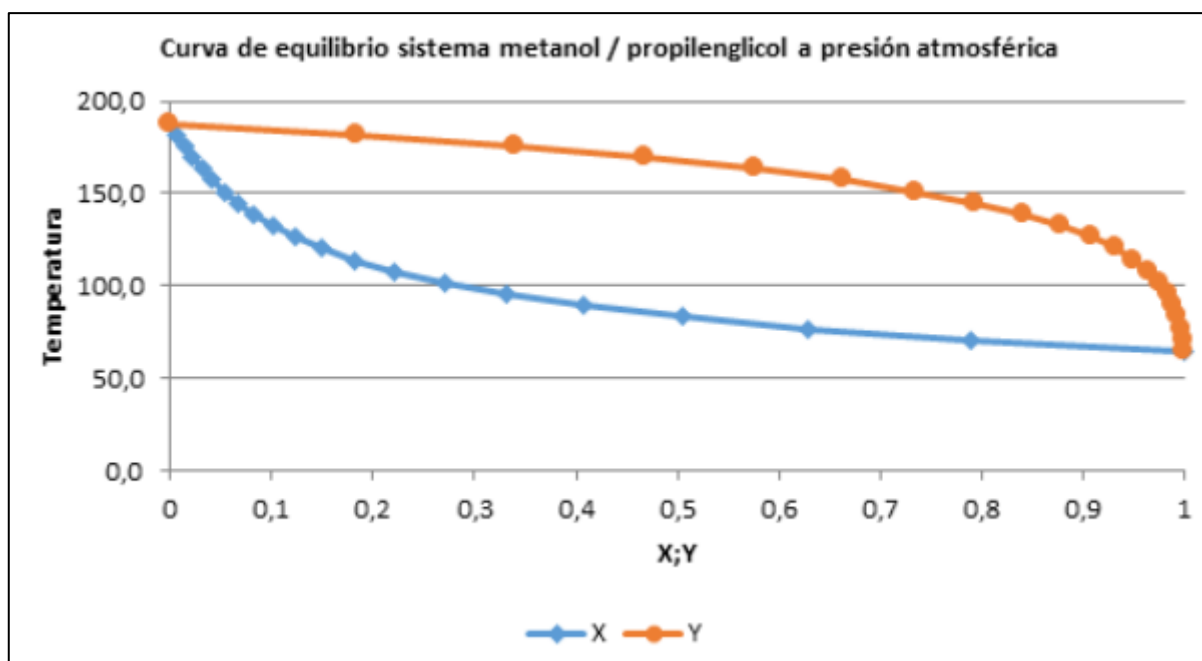


Figura 4.8. Curva de equilibrio del sistema Metanol-Propilenglicol. P = 1 atm.

4.5.3.2 Aproximación en estado estacionario

La primera aproximación para diseñar la columna ha sido simularla mediante el programa *AspenPlus*® v.10, emulando unos caudales en estado estacionario. Esta aproximación ha permitido estudiar la influencia del número de etapas (N), la etapa de entrada (N_{Entrada}) y la presión de operación (P) en el equilibrio. Se ha planteado el proceso entero con cajas negras excepto para la columna (que es el objeto de estudio), para la cual se ha utilizado el modelo RADFRAC, que calcula destilaciones de manera rigurosa, teniendo en cuenta posibles azeótropos o interacciones dentro de la columna. El paquete termodinámico seleccionado para ésta y el resto de las simulaciones ha sido NRTL²⁷.

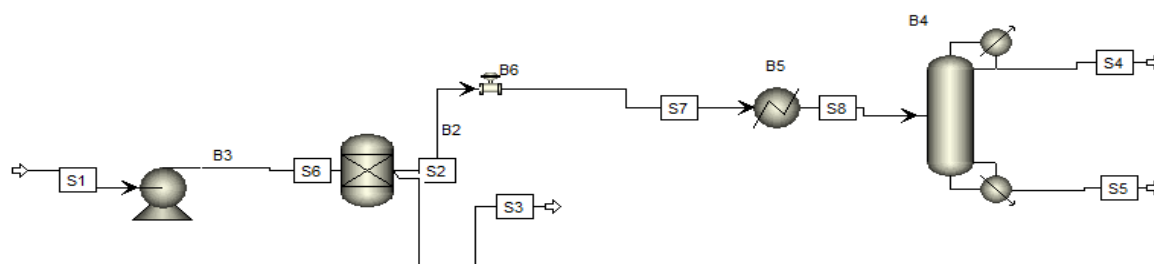


Figura 4.9. Flowsheet de la simulación en su estado inicial.

Las condiciones consideradas en estos estudios son:

Caudal de alimentación: 1.165 kmol/h

Composición (molar): 26.8% MPG, 60.8% MeOH, 12.3% H₂O.

Temperatura de alimentación: 60°C.

Objetivo de pureza²⁸: 99.5% MPG.

²⁷ NRTL: *Non-random two liquid model*.

²⁸ En esta fase del proyecto no se consideraba la recuperación de metanol prioritaria así que no se fijó objetivo de pureza para éste.

En la Figura 4.10 puede apreciarse como los reflujos necesarios empiezan a aumentar cuando se baja de menos de 5 etapas. A partir de la etapa 3 no hay datos ya que directamente el modelo dejó de converger. Por lo tanto, se determinó que el número de etapas óptimo era 5 (se conserva la eficiencia de la columna con el menor número de platos posibles), ya que normalmente es preferible añadir platos a aumentar el reflujo debido a que los costes de operación suelen ser más altos (aquí la decisión estaba entre escoger 4 o 5 etapas).

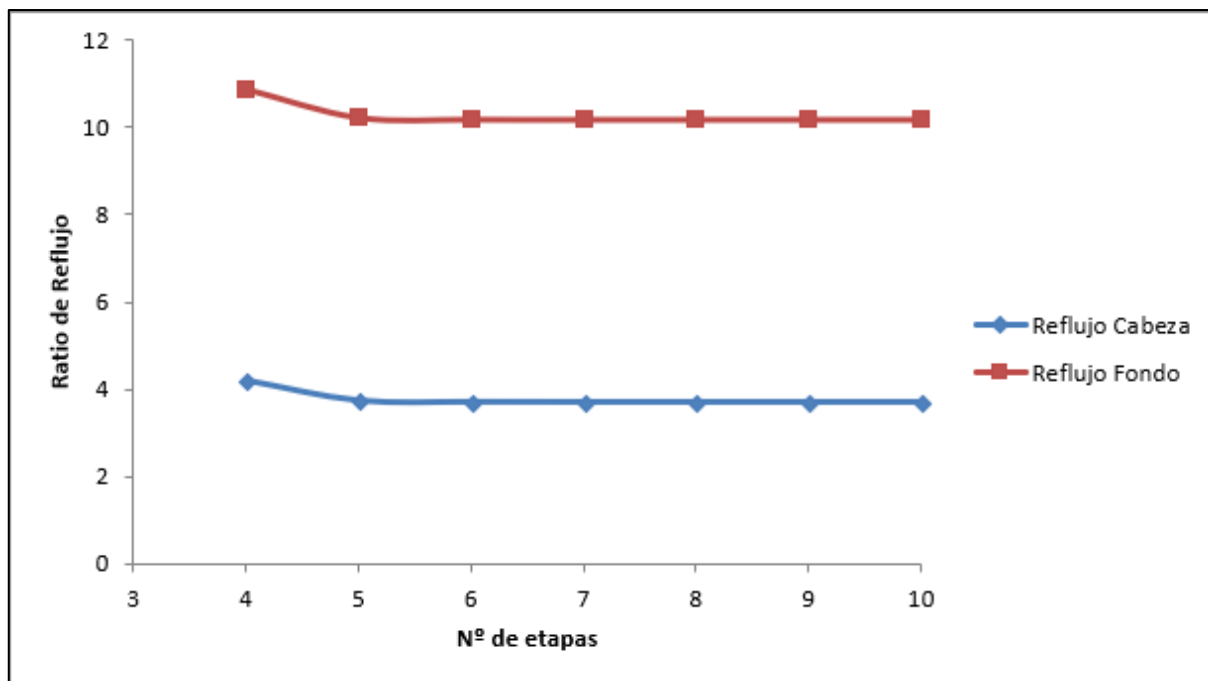


Figura 4.10. Relaciones de reflujo para diferente número de etapas. $P = 1$ bar, $N_{\text{entrada}} = N-1$. La etapa de entrada fue determinada con la misma metodología (fijando el resto de las variables y observando la tendencia de esta). Sin embargo, los resultados son algo confusos (Figura 4.11):

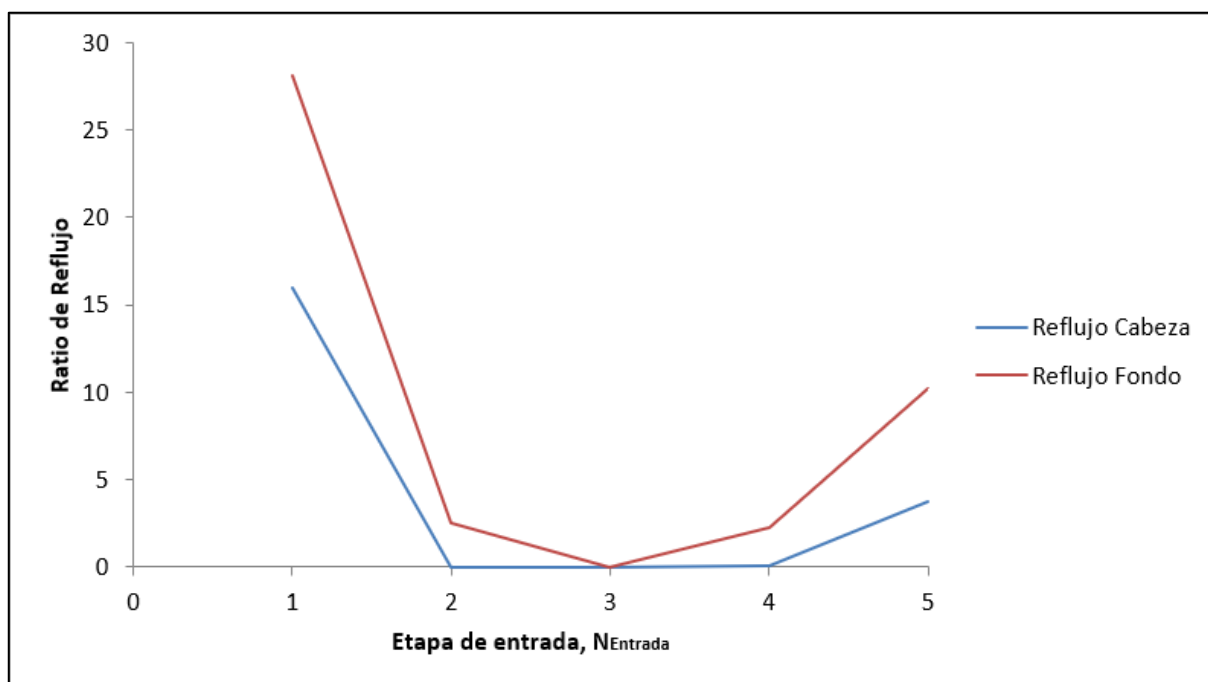


Figura 4.11. Relaciones de reflujo para diferentes etapas de entrada. $N = 5$; $P = 1$ bar.

Teniendo en cuenta que la etapa más alta de la columna (cabeza) es la 1, y que la más baja (fondos o calderín) es la 5, se compararon los diferentes platos de entrada, pero por alguna razón con $N_{\text{Entrada}} = 3$ la simulación fue incapaz de converger (de ahí el valor nulo de la figura).

Los platos más atractivos parecen ser 2 o 4; pero finalmente se escogió el plato por concepto (el producto prioritario es el MPG, por tanto importa que la sección de agotamiento²⁹ sea lo más corta posible y la de rectificación³⁰ lo más larga posible: de esta manera el metanol tendrá más etapas de la columna para enriquecerse, y por tanto, separarse mejor). Esto además coincide con la estructura habitual de una columna Batch, en la que la etapa 5 es el calderín. Se sabe además que los puntos de ebullición entre metanol y MPG son muy diferentes (65°C vs. 189°C), lo cual ayuda a explicar porque las relaciones de reflujo³¹ son tan bajas en los puntos óptimos.

El último estudio se realizó comparando de nuevo los reflujos necesarios a diferentes presiones.

Tabla 4.14. Relaciones de reflujo en función de la presión de operación. $N = 5$; $N_{\text{Entrada}} = 4$.

Presión (bar)	Reflux Ratio (-)	Boilup Ratio (-)
1	0.103	2.287
0.5	0.036	2.036

Como se puede apreciar rápidamente, la mejora no es excesivamente útil, especialmente si se tienen en cuenta los costes asociados con variar la presión antes y después de la columna. Por lo tanto finalmente se decidió fijar la presión de operación de la columna en 0.8 bar. En cualquier caso es importante apreciar que cuanto más cerca del vacío se encuentre la destilación MeOH-H₂O, más eficaz será ésta.

4.5.3.3 Balance de materia Batch

El balance de materia para una columna Batch sigue la siguiente ecuación:

$$\frac{d(Nx_R)}{dt} = N \frac{dx_R}{dt} + x_R \frac{dN}{dt} = -\dot{D}x_D \quad (\text{E.4.24})$$

Dónde x_R es la fracción del líquido en el *reboiler* o calderín, N es el número de moles, x_D es la fracción de líquido recogido en el destilado y \dot{D} es el caudal de evaporación (mol/tiempo). Una aproximación muy frecuentemente utilizada es asumir que el caudal de evaporación dN/dt (\dot{D}) es constante, y de ahí se deriva a la ecuación de Rayleigh que se utiliza para resolver el balance. No obstante, si es posible, es mejor utilizar programas de cálculo potentes que sean capaces de considerar la variación de este caudal en el tiempo. Con esto en mente, se ha procedido a simular la columna con la ayuda del software AspenPlus® *Batch Modeler* v.10, que es un software adaptado especialmente para simular operaciones en estado discontinuo.

Aprovechando la interfaz del modelo, se ha diseñado la columna con un corte intermedio, que permite recoger el metanol que se destila en una parte del proceso; que es de pureza técnica hasta que se empieza a evaporar la mayor parte del MPG contenido en el calderín. A continuación se indican las instrucciones que se han introducido en el programa junto con pequeñas explicaciones de las aproximaciones y decisiones tomadas.

Tabla 4.15. Instrucciones de programación, *Batch Modeler*.

²⁹ La sección de rectificación en una columna es aquella que queda por encima de la entrada, y es en la que la fracción líquida del componente clave ligero (en este caso el metanol) aumenta su concentración.

³⁰ La sección de agotamiento en una columna es aquella que queda por debajo de la entrada, y es en la que la fracción líquida del componente clave pesado (en este caso MPG) aumenta su concentración.

³¹ Las corrientes de reflujo se utilizan para enriquecer el vapor de cabeza de columna. Por tanto, si el componente a destilar ya es de por sí mucho más volátil que el resto, es lógico que esta relación sea baja.

Ítem	Selección y explicación
<i>Species</i>	Se deben seleccionar los compuestos a utilizar y especificar el paquete termodinámico. En este caso los componentes son 4 (DMT, MeOH, MPG y Agua), y el paquete es NRTL.
<i>Configuration</i>	Seleccionar <i>Batch distillation column, number of stages: 5</i>
<i>Pot Geometry</i>	Se especifican las dimensiones del calderín. Para esta simulación, se ha escogido uno de los depósitos de la librería de AspenPlus, un reactor DE Dietrich de capacidad 10000 L. Estos se cargan desde la pestaña <i>Vessel Library</i> .
<i>Overhead</i>	Especificar condensador total e introducir una especificación de reflujo deseada.
<i>Heat Transfer</i>	Marcar la casilla de calentamiento con chaqueta térmica. Para ésta se ha especificado una temperatura media de 180 grados y un coeficiente de transferencia de calor de 0.5 kW/m ² K.
<i>Pressure & Holdups</i>	Permite calcular la caída de presión en columna o calcularla. E igual para los <i>holdups</i> . En este caso, se han fijado 5 L de <i>holdup</i> por etapa, que es un valor habitual, y se ha calculado la pérdida de carga asociada ³² .
<i>Internals (nota)</i>	Se pueden especificar el empacado interno de la columna. Deben seleccionarse las opciones <i>Type: Vendor Packing</i> , y especificar que los anillos son RALU-RING, de DN 25 y material metálico. Finalmente se debe fijar la HETP calculada, que son 0.44 m (ver apartados siguientes).
<i>Efficiency</i>	Permite calcular la eficiencia de etapa. Se ha seleccionado la ecuación de Murphree.
<i>Receivers</i>	Permite fijar cuantos <i>drums</i> de destilado hay. Indicar 2.
<i>Initial conditions</i>	Aquí se especifican las condiciones de entrada. En esta simulación sólo se ha especificado la carga inicial del calderín, que son 6.327 toneladas con composición 46.3/48.4/5.3 MeOH/MPG/H ₂ O. No obstante, si se desea, se pueden especificar condiciones de recibidores o destilados.
<i>Operating Steps</i>	Es la parte más crítica. En esta pestaña se pueden generar diferentes pasos de operación, con diferentes condiciones de operación para la columna. En la simulación realizada, se han fijado dos pasos: “MeOH” y “Destilación”. “MeOH” es el paso en el que se destila metanol de pureza técnica. En este paso se ha fijado que el recibidor sea DR505.01 durante las 4 primeras horas, que es cuando se aprecia que la pureza del metanol bajaba de 99.5%. “Destilación” es el segundo paso, y no finaliza hasta que se cumpla la condición: fracción de MPG en el calderín = 0.995. Este paso para automáticamente si pasan más de 12 horas totales.

NOTA: Los *internals* se añadieron después de haber calculado la HETP, apartado 4.5.6.5 del diseño de columna. Finalmente, en las siguientes Tablas 4.16 y 4.17; y las Figuras 4.12, 4.13, y 4.14 se adjuntan los resultados del balance de materia final.

³² A pesar de que se puede calcular la pérdida de carga, debido a las dificultades que presentaba el programa se decidió introducir los valores fijos manualmente y así poder hacer más pruebas. La diferencia entre ambas opciones es mínima, y los valores de este documento son los de la caída de presión fijada, no la calculada.

Tabla 4.16. Resultados del cálculo de la columna D-515 (primer paso: “MeOH”).

Stage	T (°C)	P (bar)	Liq. Flow (kg/h)	Vap. Flow (kg/h)	(-) MPG (wt)	(-) MeOH (wt)	(-) H ₂ O (wt)
Drum	58.79	0.800	1559.4	0.0000	$5.14 \cdot 10^{-10}$	0.9947	0.0053
Cond.	58.79	0.800	1878.4	0.0000	$5.15 \cdot 10^{-10}$	0.9947	0.0053
2	59.11	0.803	1543.6	1878.4	$1.63 \cdot 10^{-7}$	0.9861	0.0138
3	59.69	0.806	1510.0	1862.7	$4.25 \cdot 10^{-5}$	0.9674	0.0325
4	60.94	0.809	1417.3	1829.0	0.0108	0.9155	0.0736
Pot	76.04	0.812	0.0000	1736.4	0.6266	0.3065	0.0670

NOTA:: el condensador/drum es lo que sale de la etapa 1, y *Pot* es la etapa 5 (fondos, calderín).

Tabla 4.17. Resultados del cálculo de la columna D-515 (segundo paso: “Destilación”).

Stage	T (°C)	P (bar)	Liq. Flow (kg/h)	Vap. Flow (kg/h)	(-) MPG (wt)	(-) MeOH (wt)	(-) H ₂ O (wt)
Drum	125.67	0.800	0.0000	0.0000	0.9120	$4.730 \cdot 10^{-4}$	0.0875
Cond.	127.79	0.800	94.834	0.0000	0.9215	$3.528 \cdot 10^{-4}$	0.0781
2	171.85	0.803	0.1009	94.834	0.9949	$1.020 \cdot 10^{-5}$	0.0050
3	171.98	0.806	0.2017	94.900	0.9949	$1.019 \cdot 10^{-5}$	0.0050
4	172.11	0.809	0.3023	94.967	0.9949	$1.018 \cdot 10^{-5}$	0.0049
Pot	172.23	0.812	0.0000	95.033	0.995	$1.017 \cdot 10^{-5}$	0.0049

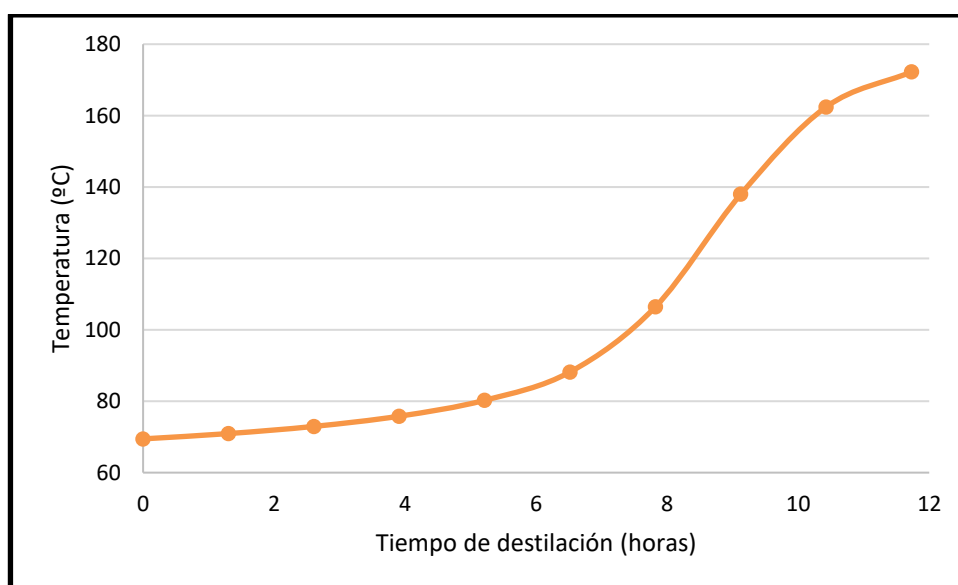


Figura 4.12. Evolución de la Temperatura del calderín B-515 a lo largo de la destilación.

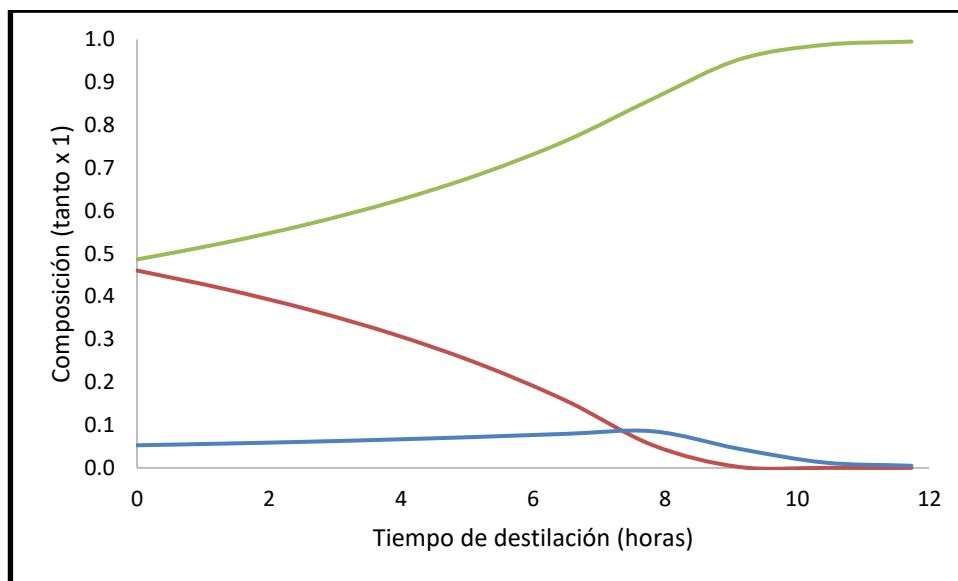


Figura 4.13. Composiciones (líq.) de las sustancias en el calderín a lo largo de la destilación.
Verde: MPG | **Rojo:** Metanol | **Azul:** Agua.

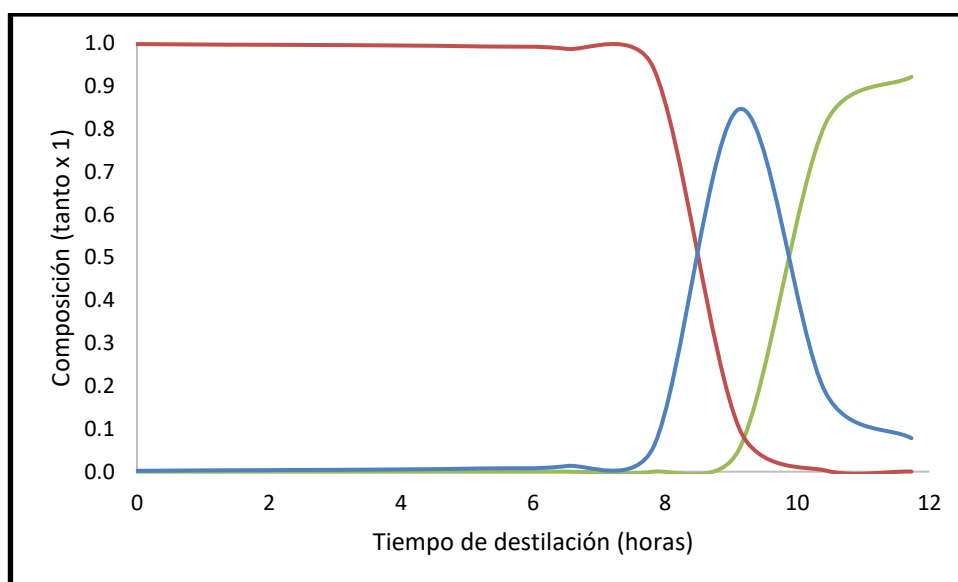


Figura 4.14. Composiciones (líq.) de las sustancias en cabeza a lo largo de la destilación.
Verde: MPG | **Rojo:** Metanol | **Azul:** Agua.

4.5.3.4 Hidrodinámica de la columna

Una vez determinados los balances de materia y el planteamiento conceptual de la columna, se procede a calcular la hidrodinámica y dimensionar la columna. Se ha utilizado el modelo propuesto³³ en la referencia 13.

El procedimiento completo de cálculo se describe en el Anexo B. El resultado principal de este apartado es la determinación del diámetro de columna, que finalmente se ha calculado sobre un valor **D = 0.37 m**.

³³ *Diseño de platos perforados para columnas de destilación Parte I*, F. López, F. Francesc, Facultad de Química de Tarragona.

4.5.3.5 Cálculo de la altura equivalente de plato HETP

Para poder pasar del planteamiento convencional a una columna empacada, existen diferentes maneras de proceder. La más común es calcular el factor HETP³⁴, que es un factor que determina la altura necesaria para llevar a cabo un proceso de destilación con un número determinado de etapas:

$$Z = HETP \cdot N \quad (\text{E.4.25})$$

Dónde Z y N son la altura de empaquetamiento y número de etapas teóricas, respectivamente.

Por desgracia, hay muy pocas correlaciones o métodos generalizados disponibles hoy en día para estimar la HETP de manera teórica. La mayoría de estos métodos suelen ser empíricos o ecuaciones proporcionadas por los proveedores del empaquetamiento (ref. 14). Adicionalmente, muchos de ellos sólo funcionan en columnas de diámetros pequeños (aunque esto último no es un problema para la columna D-515, ya que un D de 0.37 m es pequeño para un estándar industrial). Una de las reglas heurísticas más importantes que puede utilizarse en columnas pequeñas es (Caldas y Lacerda, 1988):

$$HETP = \text{diámetro de columna} \quad (\text{E.4.26})$$

Otra correlación importante es la siguiente (Lockett, 1988), que depende de las propiedades físicas y la capacidad del empaquetado:

$$HETP = \frac{(4.82 \cdot (\rho_L - \rho_G)^{0.5} \cdot \mu_r^{-0.06})}{\alpha} \quad (\text{E.4.27})$$

$$\alpha = a_p \cdot \left[(1 + 0.78e^{0.00058a_p}) \cdot \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.25} \right]^{-2} \quad (\text{E.4.28})$$

La expresión utilizada finalmente para el cálculo de HETP es la que se adjunta a continuación:

$$HETP = C_{pk} \cdot \frac{Z^{0.5}}{a_p} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (\epsilon - h) \cdot u_v}{4D_V} \right)^{0.5} \cdot \left[1 + \left(\frac{h \cdot D_V \cdot M_L \cdot \rho_V \cdot V}{(c - h) \cdot D_L \cdot M_V \cdot \rho_L \cdot L} \right)^{0.5} \right] \cdot \left[\left(\frac{1 - \epsilon + h}{1 - c} \right)^{2/3} - 1 \right]^{-1} \quad (\text{E.4.29})$$

C_{pk}: Factor característico de empaquetamiento [-].

Z: Altura del lecho empacado [m].

a_p: Área superficial, [m²/m³].

c: Fracción de vacío de empaquetamiento [-].

h: *Operating holdup* [-].

u_v: Velocidad del vapor en columna [m/s].

D: Coeficiente de difusividad del vapor (v) o líquido (l) [m²/s].

M: Peso molecular promedio del vapor (v) o líquido (l) [g/mol].

ρ: Densidad del vapor (v) o líquido (l) [kg/m³].

V: Caudal del vapor (v) o líquido (l) [kg/h].

c: Fracción de vacío aparente (contraparte de h) [-].

³⁴ **HETP**: *Height Equivalent to Theoretical Plate*, altura equivalente de plato.

Se ha utilizado esta correlación ya que era la más accesible con los datos que se disponen de la columna y sus caudales internos. La correlación se ajusta a 326 *sets* de datos experimentales con una desviación máxima del 25%, por lo que se considera adecuada para esta aplicación³⁵.

El material de empaquetamiento escogido es el mismo utilizado en las columnas de Clariant, anillos RALU RING, del fabricante Raschig. Estos anillos metálicos (316A) de cuarta generación tienen unas dimensiones de 25 x 25 x 0.4 mm, y están preparados para reducir al máximo la pérdida de carga de la columna a la vez que se maximiza la eficiencia de ésta.



Figura 4.15. Ilustración de anillos RALU RING (extraída de la página de Raschig).

En la Tabla 4.30 se adjuntan los resultados y valores obtenidos para este apartado. Es interesante ver cómo, curiosamente, el *heuristic* de la ecuación E.4.26 se ajusta bastante al valor final de HETP (0.37 m vs. 0.44 m).

Tabla 4.30. Resultados del cálculo de HETP.

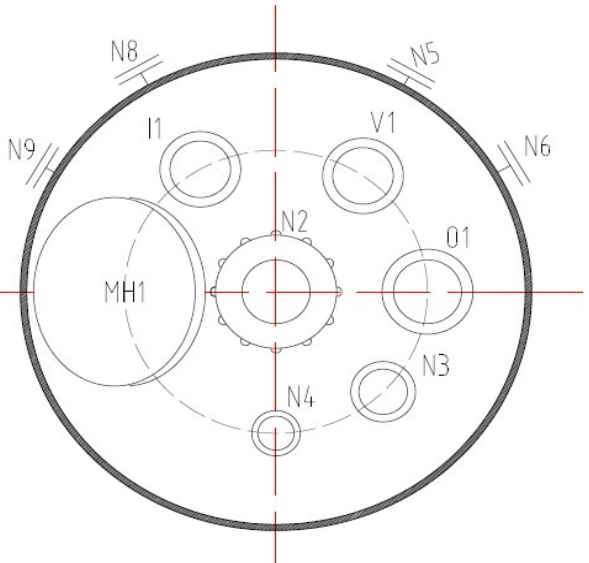
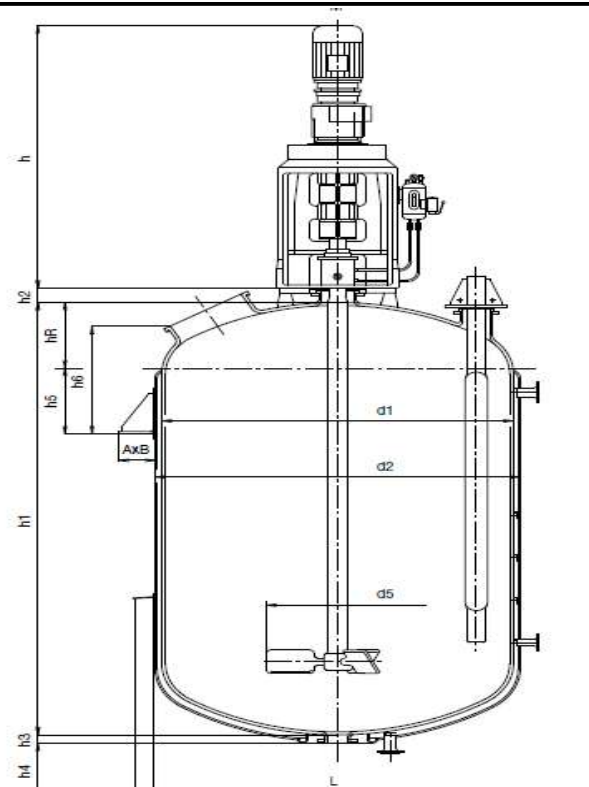
Parámetro	Valor		Parámetro	Valor
HETP (m)	0.444		D_v (m ² /s)	$2 \cdot 10^{-5}$
C_{pk} (-)	1	*	M_v (g/mol)	31.96
Z (m)	0.025	*	ρ_v (kg/m ³)	0.884
a_p (m ² /m ³)	215	*	V (kg/h)	2194.8
ϵ (-)	0.96	*	D_L (m ² /s)	$1.8 \cdot 10^{-9}$
h (-)	0.1		M_L (g/mol)	31.16
c (-)	0.9		ρ_L (kg/m ³)	751.8
u_v (m/s)	6.53		L (kg/h)	2316.0

*: Estos valores son intrínsecos del material de empaquetamiento utilizado.


³⁵ El diseño de columnas empacadas, a diferencia de las columnas de platos, es bastante complejo y las correlaciones dependen mucho de factores de transferencia de masa. Generalmente se confía completamente en las ecuaciones facilitadas por proveedores, por lo tanto una correlación genérica es ya de por sí muy útil, incluso con la desviación del 25%.

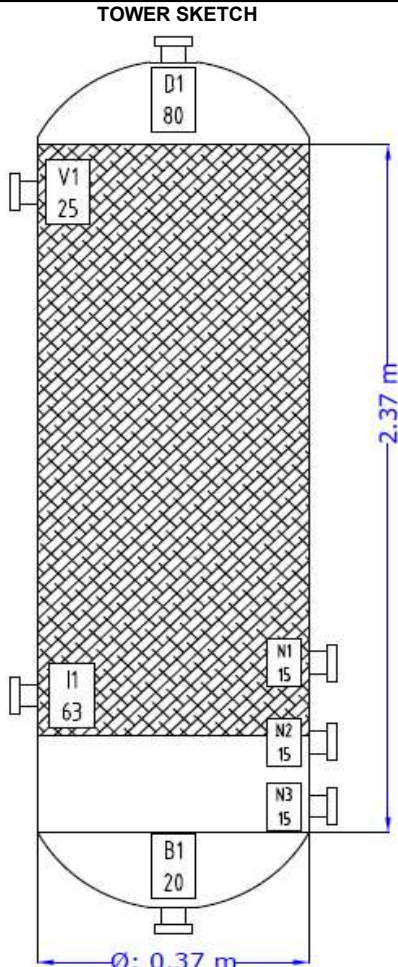
VERTICAL TANK DATA SHEET

Reactor B-515		Manufacturer: DE Dietrich			Modelo BE10000			
1	GENERAL	Item:			B515			
2		Service:			Mixture Boiling Vessel			
3		Type of roof:			External Floating			
4		Capacity (Maximum/Net Working)			10 / 6.54 m ³			
5	OPERAT. COND.	Operating Pressure	Atm.	bar g	Nominal Capacity	10000 L		
6		Operating Temperature	170	°C	Total Capacity	11749 L		
7		Liquid Density	876	kg/m ³	Jacket Capacity	866 L		
8		Inlet flow	3.6	m ³ /h	Heating area	20.7 m ²		
9		Outlet flow	0.3	m ³ /h	Aprox. Weight	116000 N		
10	DESIGN DATA	Design pressure (bar)			Wall thickness	20 mm		
11		Inside	-1/+6		Wall conduc.	40 W/mK		
12		Jacket	-1/+6		Fouling coeff.	2.33 kg/s/m ² /K		
13		Half Coil	-1/+30		Lining conduc.	1 W/m/K		
14		Design temperature (bar)			Lining thickness	1.5 mm		
15		Inside	-25/200					
16		Jacket	-25/200					
17	Half Coil	-25/235						
18	DIMENSIONS	Main (mm)	Support system (mm)		AGITATOR			
19		d1	2400	d7		2910	Manufacturer	EKATO
20		d2	2500	h5 min.		500	Power	20 kW
21		d5	1050	h6 min.		145	DN	80
22		h1	3180				Approved by	
23		h2	135				ATEX 2014/34/EU	
24		h3	85				GOST TR-ZU 010/2011	
25		hR	570				Seal plate	
26		NOZZLES	Service	Mark/No.		DN	Rtg.	Connection
27			Process	I1		32	PN16	
28	Process		V1	32	PN16			
29	Process		O1	65	PN16			
30	Instrumentation		N1	25	PN16		HLA515.01	
31	Instrumentation		N2	80	PN16		Agitator	
32	Process		N3	20	PN16			
33	Instrumentation		N4	15	PN16		LIT515.01	
34	Heating		N5	15	PN16		Jacket	
35	Heating		N6	15	PN16		Jacket	
36	Instrumentation		N7	15	PN16		TT515.03	
37	Refrigeration		N8	25	PN16		Inner coil	
38	Refrigeration		N9	25	PN16		Inner coil	
39	Process		O2	50	PN16			
40								
41								
42	NOTAS: El grado de llenado debe ser del 65% al inicio de la destilación y del 20% al finalizar ésta.							
43	El reactor dispone de una chaqueta térmica exterior, y una sistema de refrigeración interno.							
44	El agitador A515 dispone de un cierre mecánico.							
45								
46								
47								
48								
49								
50								
51	1		23.05.18	Julio S.	Javier H			
52	0		11.04.18	Julio S.				
53	REV.		DATE	PREP.	APPR.			
54								



TOWER DATA SHEET

1	GENERAL	Item: D-515			
2		Service: Methanol Distillation Column			
3		Type: Packed Column			
4	OPERATING CONDITIONS	Number of stages:	5 (-)	Distillation time:	12 h
5		Pot TAG:	B-515	1st step: hours	0 to 4
6		Condenser:	Total	2nd step: hours	4 to 12
7		Jacket heating temp.	180 °C	Internal diameter	0.37 m
8		Operating temperature:	172 °C	HETP	0.44 m
9		Condenser pressure:	0.800 bar	Product:	MPG 99.5
10		Pot pressure:	0.812 bar	Subproduct:	MeOH 99.5
11		DeltaP per stage:	0.003 bar		
12		Initial charge:	6.327 t	Avg. MW:	32 g/mol
13		MPG	0.484 wt%	Liq. Avg density:	752 kg/m3
14	MeOH	0.463 wt%	Liq. Avg. Viscosity:	0.38 cP	
15	Water	0.053 wt%	Surface tension:	20 din/cm	
16					
17	DESIGN DATA	Des.Pr.(eff.)	6 barg		
18		Des.Temp.	250 °C		
19		Hydr.Test	7.2 barg		
20		Code			
21		Nominal thickness:	Cap	8.00 mm.	
22			Body	6.00 mm.	
23			Bottom	6.00 mm.	
24		Corr.Allow.mm: Shell / Heads	0 / 0 mm.		
25		Joint Efficiency:	0.85 %		
26		Stress.Rel.:	Yes	X	No
27		Radiograph:	Yes		No X
28		Sandblast:	Yes		No X
29	Paint:	Yes		No X	
30	Insulation:	Yes	X	No	
31	Fireproofing:	Yes	X	No	
32	Wt.Empty:	5896 N			
33	INTERNALS	Packing Characteristics			
34		Type:	Ralu Ring		
35		Vendor:	Raschig		
36		Material:	Metal AISI 316 TI		
37		Dimension:	25 x 25 x 04 mm		
38		Weight:	310 kg/m3		
39		Pieces:	51000 1/m3		
40		Total pieces:	34815 #		
41		Surface area:	215 m2/m3		
42		Void fraction:	96 %		
43	Operating holdup:	0.1 m3/m3			
44	MATERIALS	Column	Thick. (mm.)	Material Class	
45		Top	8	SS 304L	
46		Intermed	6	SS 304L	
47		Bot	6	SS 304L	
48					
49					
50	NOZZLES	Service	Mark/No.	DN (mm)	Rating
51		Process	I1	63	PN16
52		Bottoms	B1	20	PN16
53		Floating level LIT515.02	N3	15	PN16
54		Floating level LIT515.02	N2	15	PN16
55		Floating level LIT515.02	N1	15	PN16
56		Distillate	D1	80	PN16
57		Venting / PAD-DEPAD	V1	25	PN16
58					
59					
60					
61					
62					
63	NOTAS:				
64	La columna consta de dos <i>drums</i> diferentes, uno para cada etapa del destilado.				
65					
66					
67					
68					
69					
70	0	24.05.18	Julio S.	Javier H.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química
71	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
72					



4.5.4 Depósito de almacenamiento de MPG B-251

4.5.4.1 Especificaciones de T y P de diseño

Se definen la temperatura y presión de diseño (T_d , P_d) como:

$$T_d: T_{\text{trabajo}} + 20^\circ\text{C}$$

$$P_d: P_{\text{trabajo}} + P_{\text{columna de líquido}}$$

4.5.4.2 Cálculo del espesor del depósito

El depósito de almacenamiento B-251 se ha diseñado siguiendo las instrucciones de la normativa API650: *Welded Steel Tanks for Oil Storage*. Se ha considerado una capacidad operativa de 2 semanas (14 días) de producción en el tanque. Este tanque estará situado en el parque de tanques de Clariant, y almacenará MPG de pureza técnica 99.5%.

Las dimensiones del tanque se han calculado de la siguiente manera:

$$V_{\text{útil}} = M_{14\text{días}}/\rho \quad (\text{E.4.31})$$

$$V_{\text{nom.}} = \frac{V_{\text{útil}}}{\% \text{ llenado}} \quad (\text{E.4.32})$$

Se deduce la altura del tanque (sin el cono) a partir de aislar la fórmula geométrica:

$$V_{\text{nom.}} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h \quad (\text{E.4.33})$$

En este caso, se ha fijado la relación D/H con un valor de 0.7, designado como óptimo (ref. 16):

$$D = 0.7 \cdot h \quad (\text{E.4.34})$$

Y por tanto, E.4.33 se define en función de h, con lo que queda:

$$V_{\text{nom.}} = \pi \cdot \frac{0.7^2 \cdot h^3}{4}; h = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{nom.}}}{\pi \cdot 0.49}} \quad (\text{E.4.35})$$

Según el apartado 5.6.3 de la normativa, se calculan el grosor nominal y de testeo con el método de un pie o *1-Foot Method*³⁶:

$$t_d = \frac{4.9 \cdot D \cdot (H-0.3) \cdot G}{S_d} + C.A. \quad (\text{E.4.36})$$

$$t_t = \frac{4.9 \cdot D \cdot (H-0.3)}{S_t} \quad (\text{E.4.37})$$

H: altura de líquido al nivel de diseño [m].

G: Gravedad específica del líquido a almacenar [-].

C.A.: *Corrosion Allowance* [mm].

S_d: Tensión máxima admisible para las condiciones de diseño [MPa].

S_t: Tensión máxima admisible para la prueba hidrostática [MPa].

Debido a que el depósito es relativamente pequeño, se pueden utilizar también las fórmulas del apéndice A de la normativa, que dice que:

$$t_d = \frac{4.9 \cdot D \cdot (H-0.3) \cdot G}{E \cdot 145} + C.A. \quad (\text{E.4.38})$$

Dónde **E** es el factor de eficiencia de junta, típicamente fijado en 0.85 [-].

³⁶ Éste recibe su nombre a raíz de que permite calcular grosores por encima de 1 pie de cada virola del tanque.

En cualquier caso, ambos valores son muy similares³⁷. Finalmente, los grosores calculados deben ajustarse al estándar nominal, de acuerdo con la tabla 5.6.1.1 de la normativa que especifica unos valores fijos para tanques de $D < 15$ m. Estos son los valores mínimos que debe tener cualquier tanque API independientemente del servicio o condiciones, y son los que se adjuntan a continuación:

Tabla 4.18. Grosor de plancha nominal para tanques API.

Diámetro nominal de tanque		Grosor nominal de plancha	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
<u><15</u>	<u><50</u>	<u>5</u>	<u>3/16</u>
15 a <36	50 a < 120	6	1/4
36 a 60	120 a 200	8	5/16
> 60	> 200	10	3/8

NOTA: En subrayado, los valores adoptados.

4.5.4.3 Virolas, fondo y techo

Los tanques API están conformados por diferentes placas (virolas) superpuestas entre sí. Estas virolas tienen unas medidas estándar que son las que se recogen en el apartado 5.4 de la normativa. En este apartado se indica que la anchura mínima de las virolas será de 1800 mm, que es la que se ha escogido para este tanque.

Con esto en mente, son necesarias tres virolas (4.68 m de altura entre 1.8 m = 2.6 ≈ 3 virolas).

Las virolas de fondo (*bottom*) tendrán un espesor de 6 mm, (5.4.1. API650); y el techo será un cono con soporte. El ángulo de inclinación (θ) se ha fijado en 15°.

4.5.4.4 Peso del tanque

Para acabar, se calcula el peso del tanque (vacío) a partir de los volúmenes utilizados de metal:

$$P_{techo} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot [(R + t_{nom.})^2 - R^2] \cdot h' \cdot g \cdot \rho_M \quad (E.4.39)$$

$$P_{techo} = \pi \cdot [(R + t_{nom.})^2 - R^2] \cdot h \cdot g \cdot \rho_M \quad (E.4.40)$$

$$P_{fondos} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot [(R + t_{nom.})^3 - R^3] \cdot g \cdot \rho_M \quad (E.4.41)$$

Donde R es el radio del depósito, h es la altura del tanque, h' la altura del cono (calculada a partir del D del depósito y el ángulo θ) y ρ_M es la densidad de metal, todos en unidades S.I.

A continuación, se calcula el peso de la columna de líquido contenido en el tanque.

$$P_{liq} = H \cdot \rho_{liq} \cdot g \quad (E.4.42)$$

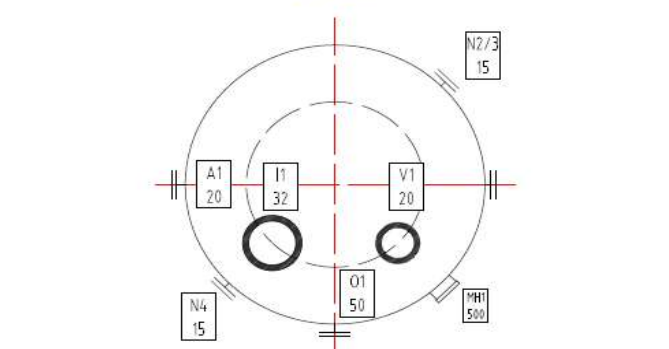
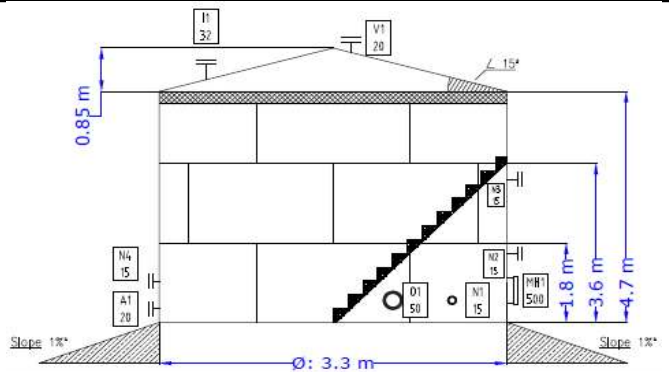
Tabla 4.16. Pesos y presiones distribuidas del tanque.

Parte del tanque	Peso vacío (kN)	Peso columna (kN)	Presión diseño (bar)
Cono (h = 5.53 m)	2.247	0.000	1.000
Cilindro (h = 4.68 m)	18.66	0.000	1.000
Fondos (h = 0 m)	6.540	44.51	1.445

³⁷ 2.49 mm con el *1-Foot Method*; 2.55 mm con el método del apéndice A.

VERTICAL TANK DATA SHEET

Tanque Vertical de almacenamiento de MPG B-251						
1	GENERAL	Item:		B251		
2		Service:		MPG Storage Tank		
3		Type of roof:		Cone, 15°		
4		Capacity (Maximum/Net Working)		40.1 / 37.5 m3		
5	OPERAT. COND.	Operating Pressure	Atm. bar g			
6		Operating Temperature	35 °C			
7		Liquid Density	1015 kg/m ³			
8		Inlet flow	1.35 m ³ /h			
9		Outlet flow	1.35 m ³ /h			
10	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)	1 bar g	Tank Height	4.68 m	
11		Vacuum Pressure (eff.)	5 mbarg	Tank Diameter	3.28 m	
12		Failure Pressure (eff.)	1.6 bar g	Plate thickness	5 mm	
13		Design Temperature	55 °C	Filling grade	93.5 %	
14		Corr. Allow.	0 mm	Nominal Volume	40.1 m ³	
15		Courses:	3 N°	Cone angle	15 °	
16		Joint Eff.	1	Sd	137 Mpa	
17		Code:	API 650			
18	Radiograph:	%				
				Stress Relieve:	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
				Insulation:	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
				Fireproofing:	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
				Sandblast:	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
				Paint:	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
				Wt. Empty:	2798 kg 27.44 kN	
				Wt. Full of product:	7335 kg 72.00 kN	
				Wt. Full of water:	7268 kg 71.30 kN	
				Hidrostatic Test (eff.)	1.25 bar g	
19	MATERIALS	Thickness (mm.)		Material Class		
20		Perimetral ring		-		
21		Shell course				
22		3	5	SS 304L		
23		2	5	SS 304L		
24		1	5	SS 304L		
25	Roof		5 SS 304L			
26	Bottom		6 SS 304L			
27	NOZZLES	Service	Mark/No.	DN	Rtg.	Connection
28		Product Inlet	I1	32	PN16	
29		Manhole	MH1	500	PN16	
30		Analysis Pipe	A1	20	PN16	
31		Drain	D1	20	PN16	
32		Product Outlet	O1	50	PN16	
33		Venting	V1	20	PN16	
34		Temp. Probe	N1	15	PN25	TT251.01
35		Level Measuring	N2	15	PN16	LT251.01
36		Level Measuring	N3	15	PN16	LT251.01
37	Pressure Measure	N4	15	PN16	-	
38						
39						
40						
41						
42						
43	NOTAS: El producto puede sufrir degradación y oxidación a temperaturas superiores a 40°C.					
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52	1		21.05.18	Julio S.	Javier H	
53	0		11.04.18	Julio S.		
54	REV.		DATE	PREP.	APPR.	
55						



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
 Departament d'Enginyeria Química

5 SEGURIDAD

5.1 Zonas ATEX

5.1.1 Consideraciones técnicas

Este apartado responde al planteamiento diagrama de zonas ATEX que se encuentra en la página 26.

Todos los cálculos y decisiones tomadas a la hora de determinar las zonas ATEX (Atmósferas Explosivas) responden al RD 681/2003 y las normas UNE EN 1127-1, UNE EN 60079-10 y UNE 202007 IN.

Según el art. 3 del RD 681/2003 (ref. 17):

“El empresario deberá tomar medidas de carácter técnico y/u organizativo, siguiendo un orden de prioridades y conforme a los principios básicos siguientes”:

1. Impedir la formación de atmosferas explosivas.
2. Evitar la ignición de atmósferas explosivas.
3. Atenuar los efectos de una explosión.
4. Evitar la propagación.

Bajo esta premisa, es necesario definir también qué es una atmosfera explosiva. Se entiende una atmósfera explosiva como una mezcla con el aire de sustancias inflamables. Dichas sustancias deben encontrarse en forma de gas, vapor, niebla o polvo en condiciones atmosféricas. Se asume también que tras la posible ignición, la combustión se propagará a toda la mezcla no consumida. La sustancia que se ha considerado en este estudio es el metanol, debido a sus propiedades inflamables. Esto es debido a que el metanol es una sustancia inflamable, que puede formar vapores fácilmente a pesar de ser un líquido a temperatura ambiente. Se adjuntan datos sobre esta sustancia en la Tabla 5.1. Para más información, puede consultarse su respectiva ficha de seguridad en el Anexo A. Finalmente, cabe destacar que para este estudio no se tendrán en cuenta polvos combustibles ya que éstos no están presentes en la planta.

Tabla 5.1. Resumen de características inflamables Metanol.

Sustancia	T _{eb} (°C)	T _{inflamación} (°C)	Categoría ITC MIE-APQ-1	Lím. Inflamabilidad (%v)	
				Inferior	Superior
Metanol	65	10	Inflamable	5.5	44

5.1.2 Clasificación de zonas

Las zonas ATEX se dividen en 3 posibles³⁸:

Zona 0: Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva está presente de modo permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia.

Zona 1: Área de trabajo en la que es probable, en condiciones normales de explotación, la formación ocasional de una atmósfera explosiva.

³⁸ En realidad existen también las zonas 20, 21 y 22; pero éstas responden a situaciones en las que haya presencia de polvos combustibles, que no es el caso para esta planta únicamente el DMT puede formar polvos y estos no son combustibles.

Zona 2: Área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva.

Estas zonas se asignan en función del grado de escape que pueda haber para el caso definido, tal y como ilustra la figura X:

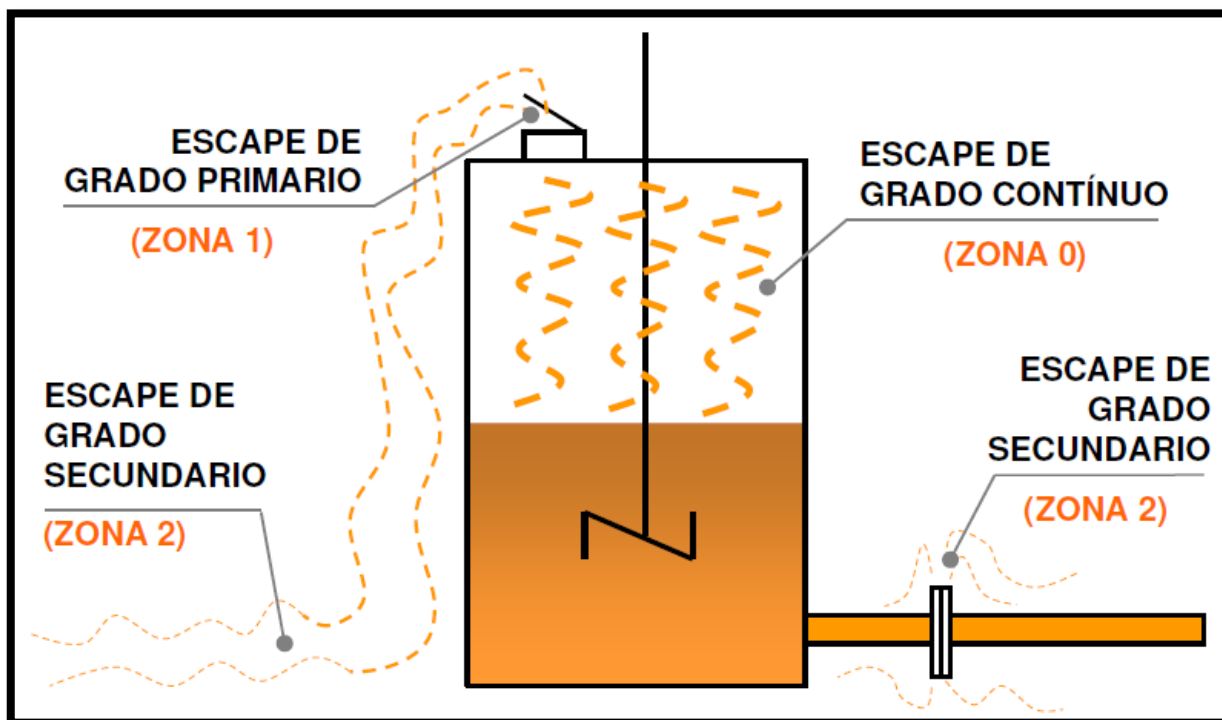


Figura 5.1. Distribución de zonas ATEX en función del grado de escape.

Para definir las zonas, se ha utilizado un enfoque cualitativo en base a los escapes, tal y como se define en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Clasificación de zonas ATEX en función del grado de escape.

Grado de escape		Frecuencia	Zona
Continuo	Constante o durante largos períodos.	Más de 1000 h/año. $P > 10^{-1}$	Zona 0
Primario	Periódico u ocasionalmente en funcionamiento normal.	De 10 a 1000 h/año $10^{-1} > P > 10^{-3}$	Zona 1
Secundario	No probable en funcionamiento normal. Infrecuente y de corta duración.	Menos de 10 h/año $10^{-1} > P > 10^{-3}$	Zona 2
Ausencia de escape		Menos de 1 h en 10 años. $P < 10^{-5}$	Zona Segura

La distribución de los tipos de escape de manera cualitativa se encuentra en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Clasificación de los tipos de escape de la planta según criterios ATEX.

Instalación	Fuente de escape / emisión		Gas o vapor	Ventilación	Zona	Extensión / comentarios
	Descripción	Localización				
Zona de impulsión bomba P505.01.	Formación atmósferas explosivas por fuga en la tubería de conexión o pérdida de contención recipiente.	Alrededor del punto de escape.	-	Artificial / Constante	Zona 1 + 2	Z-1: 0.2 m Z-2: 1 m
Filtro CF-505	Formación atmósferas explosivas por manejo de líquidos inflamables.	Alrededor del punto de escape e interior.	X	Artificial / Constante	Zona 1 + 2	Z-1: 0.2 m Z-2: 1 m
Intercambiador HX-505		-	X	Artificial / Constante	Zona 1 + 2	Z-1: 0.2 m Z-2: 1 m
Drenajes piso inferior	Formación atmósferas explosivas por manejo de líquidos inflamables.	Se extiende por el recorrido de la manguera / drenaje.	-	Artificial / Constante	Zona 1	Z-1: 1.5 m
Drenajes piso superior		-	-	Artificial / Constante	Zona 1	
Reactor B-515	Formación atmósferas explosivas por fuga en la tubería de conexión o pérdida de contención recipiente.	Alrededor del punto de escape e interior.	X	Artificial / Constante	Zona 1 + 2	Z-1: 0.2 m Z-2:
Columna D-515	Formación atmósferas explosivas por fuga en la tubería de conexión o pérdida de contención recipiente.	Puntos de escape, <i>drums</i> , PSV, condensador.	X	Artificial / Constante	Zona 1 + 2	Z-1: 0.5 m y 0.1 m Z-2: 1 m
Intercambiador HX-515	-	-	-	Artificial / Constante	Zona 2	Z-2: 0.3 m
Zona de aspiración bomba P515.01	[Imposible]	-	-	Artificial / Constante	-	-

NOTA: Es imposible la formación de atmósferas explosivas en HX-515 y P515.01 porque no pasa metanol.

NOTA 2: Se ha considerado la posibilidad de atmósfera explosiva en la red de drenaje debido a que las mangueras se limpian con líquidos inflamables.

En la columna "Gas o Vapor" se indica la posibilidad de encontrarse estado gas o vapor en el momento de fuga.

5.2 Estudio HAZOP (Columna D515)

En este apartado se incluye el estudio HAZOP³⁹ realizado para el nudo definido alrededor de la Columna D515. Un estudio HAZOP es una técnica de identificación de riesgos, en la cual se trabaja analizando los posibles accidentes o problemas de operabilidad que puede tener la planta como consecuencia de diferentes desviaciones en las variables de proceso respecto a los parámetros habituales.

³⁹ Del inglés, *Hazard and Operability*.

Se ha escogido la metodología HAZOP frente a otros sistemas como el “*What If...?*” debido a que la primera es más estructurada y se considera actualmente un estándar obligatorio en las fábricas de Clariant.

En las Tablas 5.4 y 5.5 se adjunta toda la información referente al HAZOP realizado siguiendo las indicaciones de la guía NTP 238 (ref. 18).

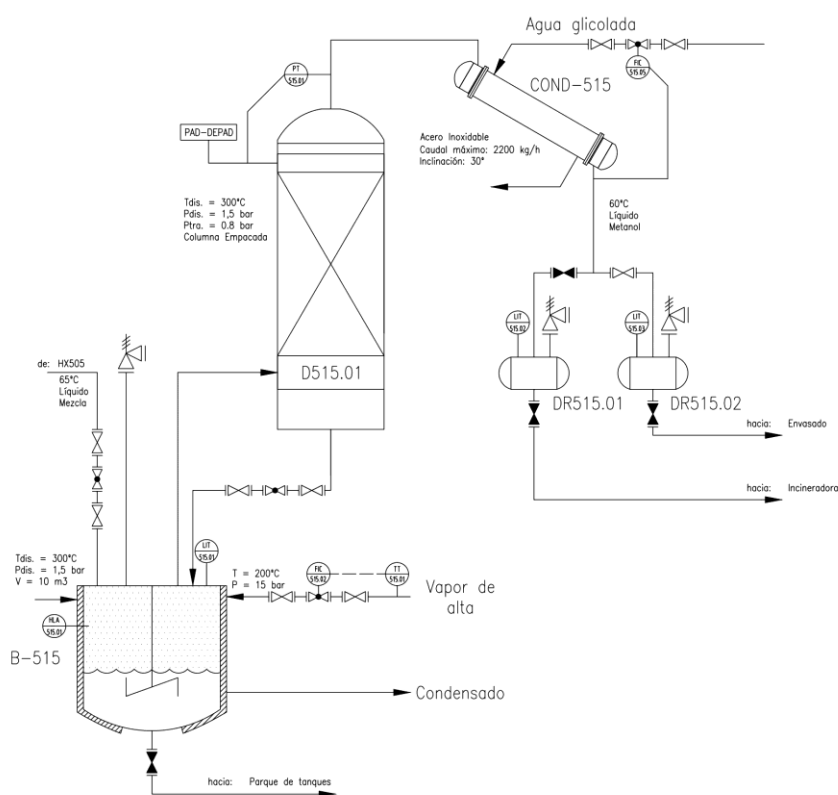
Tabla 5.4. Información documental del estudio HAZOP.

Información Documental: HAZOP de la columna D515.

UNIDAD: Planta de Recuperación de Propilenglicol

EMPLAZAMIENTO: Planta de Clariant, Polígono de Tarragona, Vila-seca.

SECCIÓN A ANALIZAR: Equipos y líneas comprendidos desde la entrada al depósito B-515 hasta los *drums* DR515.01 y DR515.02; pasando por la columna D-515 (Consultar diagrama más abajo) y el condensador COND-515.



EQUIPOS INSTALADOS/MODIFICADOS A RAÍZ DEL HAZOP:

Instalación de alarma de temperatura TA515.01 en COND-515.

Instalación del transmisor de temperatura TT515.03 en B-515

Instalación del transmisor de temperatura TT515.02 a la salida de HX-515.

PROCEDIMIENTOS INSTAURADOS A RAÍZ DEL HAZOP:

Comprobación obligatoria del nivel de los *drums* antes de iniciar cualquier operación.

Interpretar que un aumento de presión en D-515 puede estar relacionado con un fallo en el sistema de vapor del depósito B-515 (manual de operación).

Tabla 5.5. HAZOP de la columna D515.01.

Nudo	Palabra Guía	Desviación	Posibles Causas	Consecuencias	Respuesta del sistema	Acciones a tomar	Obs.
Columna D-515	Más	Nivel B-515	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula SV515.01 no regula correctamente (está demasiado abierta). - El medidor de nivel LIT 515.01 no está funcionando correctamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrellenado de la columna. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alarma HLA 515.01 cierra la entrada en el tanque B-515. 		
		Nivel D-515	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula cabeza BV515.13 se queda cerrada. - Poco reflujo de fondo; válvula SV515.03 está cerrada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inundación de la columna. Producto fuera de especificación. 	<ul style="list-style-type: none"> - La válvula BV515.13 tiene una configuración <i>lock-out</i>, por lo tanto es imposible que se cierre de manera accidental. - FIC 515.03 actúa, abriendo la válvula. 		
		Nivel <i>drums</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Medidores de nivel drums no funcionan: las válvulas BV515.19 y BV515.14 no cierran/abren como corresponde. - Llega más cantidad de metanol líquido de la esperada al depósito. - Rotura de la tubería de agua glicolada, entrando ésta en el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se envía Metanol líquido al <i>Scrubber</i> a través de la línea 25-MeOH-515.12-EC5. - Producto fuera de especificación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Si uno de los medidores falla, el otro puede actuar sobre el par de válvulas- Esto será posible siempre y cuando se haya comprobado el nivel de ambos depósitos antes de iniciar la destilación. - FT515.01 detectará la subida de caudal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Asegurar que se comprueba correctamente el nivel del depósito antes de comenzar la operación. - Instalar <i>Temperature Alarm</i> en el condensador COND515.01. 	

Nudo	Palabra Guía	Desviación	Posibles Causas	Consecuencias	Respuesta del sistema	Acciones a tomar	Obs.
Columna D-515	Menos	Nivel B-515	- Válvula SV515.01 no regula correctamente (está demasiado cerrada). - El medidor de nivel LIT 515.01 no está funcionando correctamente.	- El agitador A515 cabecea por falta de líquido. Daños estructurales al cierre mecánico. - Posibilidad de emanación de vapores de metanol al exterior.	- El Agitador tiene una configuración <i>lock-out</i> , por lo tanto sólo se encenderá si el medidor de nivel detecta nivel en el depósito.		
		Nivel D-515	- Válvula fondos SV515.03 no regula correctamente - demasiado abierta.	Producto fuera de especificación.			
		Nivel <i>drums</i>	- Medidores de nivel drums no funcionan: las válvulas BV515.19 y BV515.14 no cierran/abren como corresponde. - Llega menos cantidad de metanol líquido de la esperada al depósito.	Producto fuera de especificación.	Si uno de los medidores falla, el otro puede actuar sobre el par de válvulas- Esto será posible siempre y cuando se haya comprobado el nivel de ambos depósitos antes de iniciar la destilación.	Asegurar que se compruebe correctamente el nivel del depósito antes de comenzar la operación.	
	No	Flujo B-515	Válvulas de entrada están cerradas.	No hay consecuencias de seguridad.			
		Flujo D-515	No evapora la mezcla en B-515 (fallo en el circuito de vapor).	No hay consecuencias de seguridad.			
		Flujo <i>drums</i>	- Válvula de cabeza cerrada. - COND515 atascado por mala filtración, trazas de DMT.	Destilación dura más de las 12 h previstas- Se empieza a destilar MPG; menor cantidad de producto puro.	- No aplica; BV515.13 tiene un sistema <i>log-out</i> . - No es posible que se cuele trazas de DMT ya que la filtración la controla el Turbidímetro 505.01.	Comprobar el nivel del depósito. Asegurar calibración periódica del turbidímetro del filtro (bloque 505).	

Nudo	Palabra Guía	Desviación	Posibles Causas	Consecuencias	Respuesta del sistema	Acciones a tomar	Obs.
Columna D-515	Más	Flujo B-515	Ver: Más nivel B-515.	Más nivel en B-515.			
		Flujo D-515	Mala regulación del vapor de calentamiento - Falla el transmisor de temperatura TT515.01.	- Ebullición brusca que puede sobrepasar la temperatura de diseño. - Exceso de vapor en otros equipos.	El medidor de nivel LIT515.01 detecta la bajada de nivel brusca.	Para asegurar el funcionamiento seguro del equipo, se instala como salvaguarda adicional un transmisor de temperatura dentro del depósito.	
		Flujo <i>drums</i>	Ver: más nivel <i>drums</i> .	Más nivel en ambos <i>drums</i> de la columna.			
	Menos	Flujo B-515	- Ver Menos nivel B-515. - Agotamiento del filtro CF505.	Menos nivel en B-515.	- No aplica. - El sistema de filtrado cierra la válvula de salida cuando detecta un ΔP que indique que el filtro se ha agotado. Por tanto este suceso es improbable.		
		Flujo D-515	No evapora la mezcla en B-515 (fallo en el circuito de vapor).	No hay consecuencias de seguridad.			
		Flujo <i>drums</i>	Ver: Menos nivel <i>drums</i> .				
	Más	Presión D-515	Se taponan las líneas al no poder asegurar un equilibrio de presiones.	Posible subida de presión hasta valor de diseño.	PT515.01 detecta subida de presión y envía los gases al colector.		
	Menos	Presión B-515	Imposible- No se trabaja en depresión. Posibilidad: enviar el producto con el reactor cerrado generaría vacío.	Colapso del equipo, cavitación de la bomba; rotura del cierre mecánico.	El propio diseño del equipo evita esto.		

Nudo	Palabra Guía	Desviación	Posibles Causas	Consecuencias	Respuesta del sistema	Acciones a tomar	Obs.
Columna D-515	Más	Temperatura B-515	Fallo en el sistema de vapor al alza.	- Evaporación brusca. - Aumento de presión en el sistema. - Bajada de nivel.	- Ver: más flujo B515. - Ver: más presión B515. - Ver: menos nivel B515.		
		Temperatura D-515	Fallo en el sistema de vapor B-515 (vapores más calientes).	Vapores de MPG llegan al condensador y este se tapona, provocando un aumento de presión en D-515.	Esto no es posible porque implica la fallada del control de temperatura del vapor, el control de presión de la columna y la hipótesis de que el condensador no será capaz de condensar el MPG extra.	Interpretar que un aumento de la presión en la columna puede estar relacionado con un fallo del sistema de vapor.	
		Temperatura <i>drums</i>	Fallo agua compresor frigorífico que provoca un aumento de la temperatura.	- El metanol puede empezar a evaporar, haciendo aumentar la presión del sistema. - La Temperatura puede superar la de diseño del tanque	En el primer caso es muy poco probable ya que al evaporar también baja la T; esto tendría que ser un cambio muy drástico.	Instalar alarma temperatura agua glicolada como salvaguarda adicional.	
	Menos	Temperatura B-515	Fallo en el sistema de vapor a la baja.	Producto fuera de especificación.	Control de temperatura TT515.01.		
		Temperatura <i>drums</i>	Fallo sistema refrigeración agua demasiado fría.	No hay consecuencias de seguridad.			
	Otra	Fase <i>drums</i>	Ver: Más Temperatura <i>drums</i> .				
	No <i>utilities</i>	Sistema vapor	Avería en la caldera/reparaciones, etc.	No se podrá calentar en B-515- No hay consecuencias para la seguridad.			

Nudo	Palabra Guía	Desviación	Posibles Causas	Consecuencias	Respuesta del sistema	Acciones a tomar	Obs.
Columna D-515	No utilities	Sistema agua glicolada	Avería en el <i>chiller</i> , reparaciones, etc.	No se podrá condensar correctamente, lo cual hará que se envíen vapores de metanol hacia el <i>Scrubber</i> .	La alarma de temperatura en el sistema de refrigeración (ver: Más Temperatura <i>drums</i>) será un enclave que alertará y parará el proceso.		
		Nitrógeno	Se considera que no es posible ya que el nitrógeno de Clariant proviene de Messer, que tiene un tanque de nitrógeno líquido. Fallo del electro.	Fallo en la inertización - Posibles cambios en el planteamiento de las zonas ATEX.			
		Aire instr.	Fallo de los compresores de aire/fallo electricidad.	No se podrán manipular válvulas.	Todas las válvulas tienen la posición de seguridad (abierta o cerrada) para evitar accidentes.		
		Electricidad	Fallo del electro.	Parada de todos los equipos.	Todos los equipos se mueven a posición de seguridad.		

NOTAS:

Celda en blanco: No aplica. / **Obs.:** Observaciones.

A la hora de interpretar la tabla de desviaciones, es importante tener en cuenta que las hipótesis que se han determinado como imposibles no constan. Asimismo, muchas palabras clave de desviación no se han considerado:

Flujo Inverso: Es imposible el flujo inverso en B515, ya que implicaría el sobrellenado del tanque. El resto de tramo de columna y *drums* es de un único sentido a causa del equilibrio de presiones que se forma; **Otra Composición:** Todos los equipos están ya diseñados partiendo del *worst case* de composición posible (máximo % de trazas de agua y DMT). En cualquier caso la entrada de materias primas está dedicada especialmente, no hay entradas secundarias; **As well as corrosión:** Ya se tiene en cuenta la corrosión en el diseño del equipo mediante el control de espesores; **As well as erosión:** Todos los equipos se encuentran dentro de una caseta; **As well as operaciones:** No hay baipases, recirculaciones o demás, es imposible saltarse operaciones.

5.3 Equipos de seguridad

Para asegurar que el diseño de todos los equipos (depósitos, filtro, columna, etc.) es intrínsecamente seguro, se han incorporado dispositivos de seguridad en el diseño básico del proceso. Estos incluyen válvulas de seguridad como dispositivos de alivio, venteos conectados a un *Scrubber* general, discos de ruptura, nitrógeno de inertización, dispositivos de detección de atmósfera explosiva (dos detectores por equipo en el que pueda haber presencia acumulada de metano), etc.

En la Tabla 5.6 se adjunta el listado de dispositivos de seguridad que posee cada equipo del proceso.

Tabla 5.6. Equipos de seguridad instalados en el proceso.

Equipo	Dispositivos de seguridad?	Iniciador de accidente	Información adicional
CF-505, B-515, D-515	Detectores de atmósfera explosiva	Fuga no-detectada de metanol.	Dos por equipo.
CF-505	RD505.01 PSV505.01 Sistema PAD-DEPAD	Sobrepresión del filtro CF-505. Provocado por a) expansión térmica tras lavado b) golpe de ariete de las bomba P505.01.	Tarado de disco: 7.0 bar g. Tarado de PSV: 7.2 bar g. ($P_{\text{diseño}} \times 1.21$) D_{PSV} : DN32 – DN50. N_2 6 bar g.
B-515	RD515.01 PSV515.01	Sobrecalentamiento de vapores en B515, provocando un aumento súbito de presión.	Tarado de disco: 7.0 bar g. Tarado de PSV: 7.2 bar g. ($P_{\text{diseño}} \times 1.21$) D_{PSV} : DN40 – DN65. N_2 6 bar g.
D-515	Sistema PAD-DEPAD	-	Posibilidad de usar el PAD-DEPAD para evacuar gases de la columna hacia el <i>Scrubber</i> K-660.
DR505.01 DR505.02	PSV515.02 PSV515.03	Evaporación súbita del metanol como consecuencia de un sobrecalentamiento – sobrepresión.	Tarado de PSV: 3 bar g. (MAWP x 1.5) D_{PSV} : DN32 – DN50

NOTA: Para consultar de manera más concreta las especificaciones de equipos e instrumentos involucrados, consultar hojas de especificación.

Las PSV del proceso (situadas para proteger los equipos CF-505, B-515 y DR-515.01/02) se han diseñado siguiendo el código API 520/521 con la ayuda del módulo *Safety Analysis* de Aspen Plus. A continuación, en la tabla 5.7, se adjuntan las hipótesis de diseño de cada una.

Tabla 5.7. Diseño de PSVs: resultados.


PSV	Iniciadores	T alivio (°C)	P alivio (bar g)	Contrapresión (bar g)	Fase alivio ⁽¹⁾	Flujo alivio (kg/h)	Orificio calculado	Orificio seleccionado	Capacidad (kg/h)
505.01	Expansión térmica, sobrellenado	218.5	7.200	0.500	Vapor	3200	7.095 cm ²	8.303 cm ²	3745 (85.45%)
515.01	Salida bloqueada	200	7.200	0.500	Flujo bifásico	4800 ⁽²⁾	8.569 cm ²	11.858 cm ²	6642 (72.26%)
515.02/03	Sobrellenado, salida bloqueada	104.4	3.000	0.200	Vapor	2200 ⁽³⁾	7.540 cm ²	8.303 cm ²	2423 (90.81%)

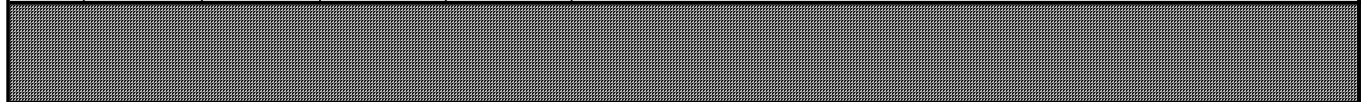
NOTA: En la columna “iniciadores”, en negrita, el iniciador que se ha considerado para el dimensionamiento.


(1) La fase de alivio ha sido calculada mediante el método de integración directa (HEM) de *AspenPlus*.

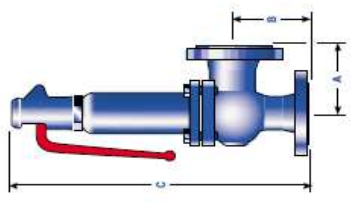

(2) Se han considerado 4800 kg/h, que es el resultado de multiplicar el caudal de ciclo por 1.5, para tener en cuenta sobredimensionamiento.

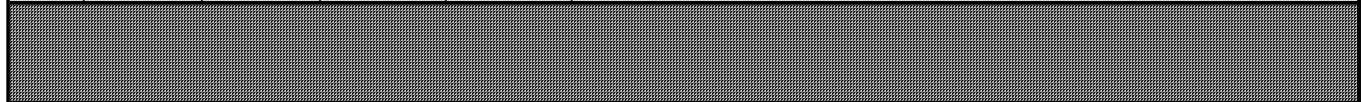
(3) Es el caudal máximo que se puede alcanzar en las 12 horas de ciclo de la columna, se escoge como *worst case*.

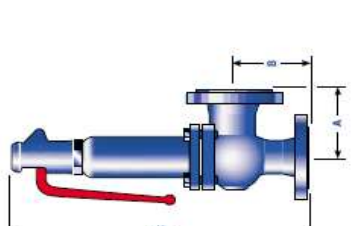

1	GENERAL				Hoja de especificación PSV			
2	Manufacturer: Spirax Sarco							
3	Tipo de válvula: Válvula de alivio Modelo: SV60							
4	INFO. GENERAL	TAG del equipo	PSV505.01	Código	AD-Merkblatt A2			
5		Diagrama	P&ID 1010	Código	API 520/521			
6		Servicio	Proceso	Capacidad calc. (kg/h)	3745 (85.5%)			
7		Tubería	32-MeOH-505.14-EC14	Capacidad vapor (kg/h)	3513			
8		P tarado / contrapresión	7.2 bar g / 0.5 bar g	Capacidad aire (m3/h)	4601			
9		Orificio y DN (mm)	30.7 (32/50)	Equipo de instalación	CF-505			
10		Área (mm²)	830	Safeplace	Techo nave			
11	αw (P > 4 bar)	0.68	Disco ruptura anterior?	Sí, Tarado a 7.0 bar g				
12	SPECS	Conexión entrada	PN40					
13		Conexión salida	PN16					
14		Diseño cuerpo	PN40					
15		Rango P tarado	0.2 a 40 bar					
16		Rango temperatura	-10 a 400 °C					
17	DIMENSIONES (mm)	A	100	PARTES/MATERIAL	Cuerpo ex.	Ac. Carb. GSC25	Sketch	
18		B	105		Cuerpo in.	Ac. Carb. GSC25		
19		C	435		Cabezal	Ac. Carb. GSC25		
20					Asiento	Inox. 1.4057		
21					Disco	Inox. 1.4021		
22					Peso (kg)	12		
23								
24								
0	28.05.2018	Julio S.	Javier H.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Químic Departament d'Enginyeria Químic				
REV.	DATE	PREP.	APPR.					



1	GENERAL				Hoja de especificación PSV			
2	Manufacturer: Spirax Sarco							
3	Tipo de válvula: Válvula de alivio Modelo: SV60							
4	INFO. GENERAL	TAG del equipo	PSV515.01	Código	AD-Merkblatt A2			
5		Diagrama	P&ID 1020	Código	API 520/521			
6		Servicio	Proceso	Capacidad calc. (kg/h)	6642 (72.3%)			
7		Tubería	40-MeOH-515.02b-EC14	Capacidad vapor (kg/h)	3513			
8		P tarado / contrapresión	7.2 bar g / 0.5 bar g	Capacidad aire (m3/h)	4601			
9		Orificio (mm)	38.1 (40/65)	Equipo de instalación	B-515			
10		Área (mm²)	1160	Safeplace	Techo nave			
11	αw (P > 4 bar)	0.68	Disco ruptura anterior?	Sí, Tarado a 7.0 bar g				
12	SPECS	Conexión entrada	PN40					
13		Conexión salida	PN16					
14		Diseño cuerpo	PN40					
15		Rango P tarado	0.2 a 40 bar					
16		Rango temperatura	-10 a 400 °C					
17	DIMENSIONES (mm)	A	100	PARTES/MATERIAL	Cuerpo ex.	Ac. Carb. GSC25	Sketch	
18		B	105		Cuerpo in.	Ac. Carb. GSC25		
19		C	435		Cabezal	Ac. Carb. GSC25		
20					Asiento	Inox. 1.4057		
21					Disco	Inox. 1.4021		
22					Peso (kg)	12		
23								
24								
0	28.05.2018	Julio S.	Javier H.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Químic Departament d'Enginyeria Químic				
REV.	DATE	PREP.	APPR.					

1	GENERAL				Hoja de especificación PSV			
2	Manufacturer: Spirax Sarco							
3	Tipo de válvula: Válvula de alivio Modelo: SV60							
4	INFO. GENERAL	TAG del equipo	PSV515.02	Código	AD-Merkblatt A2			
5		Diagrama	P&ID 1020	Código	API 520/521			
6		Servicio	Proceso	Capacidad calc (kg/h)	2423 (90.81%)			
7		Tubería	50-MeOH-515.12-EC5	Capacidad vapor (kg/h)	1782			
8		P tarado / contrapresión	3 bar g	Capacidad aire (m3/h)	2289			
9		Orificio y DN (mm)	30.7 (32/50)	Equipo de instalación	DR-515.01			
10		Área (mm²)	830	Safeplace	Techo nave			
11	αw (P > 4 bar)	0.68	Disco ruptura anterior?	NO				
12	SPECS	Conexión entrada	PN40					
13		Conexión salida	PN16					
14		Diseño cuerpo	PN40					
15		Rango P tarado	0.2 a 40 bar					
16		Rango temperatura	-10 a 400 °C					
17	DIMENSIONES (mm)	A	100	PARTES/MATERIAL	Cuerpo ex.	Ac. Carb. GSC25	Sketch	
18		B	105		Cuerpo in.	Ac. Carb. GSC25		
19		C	435		Cabezal	Ac. Carb. GSC25		
20					Asiento	Inox. 1.4057		
21					Disco	Inox. 1.4021		
22					Peso (kg)	12		
23								
24								
0	28.05.2018	Julio S.	Javier H.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Químic Departament d'Enginyeria Químic				
REV.	DATE	PREP.	APPR.					



1	GENERAL				Hoja de especificación PSV			
2	Manufacturer: Spirax Sarco							
3	Tipo de válvula: Válvula de alivio Modelo: SV60							
4	INFO. GENERAL	TAG del equipo	PSV515.03	Código	AD-Merkblatt A2			
5		Diagrama	P&ID 1020	Código	API 520/521			
6		Servicio	Proceso	Capacidad calc (kg/h)	2423 (90.81%)			
7		Tubería	50-MeOH-515.12-EC5	Capacidad vapor (kg/h)	1782			
8		P tarado / contrapresión	3 bar g	Capacidad aire (m3/h)	2289			
9		Orificio y DN (mm)	30.7 (32/50)	Equipo de instalación	DR-515.02			
10		Área (mm²)	830	Safeplace	Techo nave			
11	αw (P > 4 bar)	0.68	Disco ruptura anterior?	NO				
12	SPECS	Conexión entrada	PN40					
13		Conexión salida	PN16					
14		Diseño cuerpo	PN40					
15		Rango P tarado	0.2 a 40 bar					
16		Rango temperatura	-10 a 400 °C					
17	DIMENSIONES (mm)	A	100	PARTES/MATERIAL	Cuerpo ex.	Ac. Carb. GSC25	Sketch	
18		B	105		Cuerpo in.	Ac. Carb. GSC25		
19		C	435		Cabezal	Ac. Carb. GSC25		
20					Asiento	Inox. 1.4057		
21					Disco	Inox. 1.4021		
22					Peso (kg)	12		
23								
24								
0	28.05.2018	Julio S.	Javier H.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Químic Departament d'Enginyeria Químic				
REV.	DATE	PREP.	APPR.					

6 MANUALES

6.1 Manual de operación

A continuación se detallan los procedimientos necesarios para poder operar la planta⁴⁰. Se detallarán los pasos a seguir según la división de actividades establecida en el apartado 3.3.

6.1.1 Pasos previos al inicio del ciclo

En primer lugar, es necesario verificar el estado de todos los equipos. Si se han detectado anomalías en ciclos anteriores se procederá con especial cuidado y se informará al responsable de planta antes de la puesta en marcha. Puntos especialmente críticos que deben revisarse antes de comenzar un ciclo son:

1. Todas las válvulas de drenaje y válvulas manuales deben estar cerradas.
2. Comprobar exhaustivamente el nivel de los *drums* de la columna de destilación de metanol. Ambos deben estar completamente vacíos al comenzar cada ciclo.
3. Asegurar que los filtros del CF-505 se encuentran en buen estado y que no existen residuos de torta que puedan taponar la entrada a éste.
4. Comprobar que todos los servicios (agua de refrigeración, vapor, nitrógeno) funcionan adecuadamente y pueden suministrarse al sistema sin problemas.
5. Asegurar condiciones de atmósfera inerte en CF-505, B-515 y D-515.

6.1.2 Carga del filtro

Una vez finalizadas las verificaciones, se debe iniciar la descarga de los residuos de transesterificación que se encuentran en los reactores R-500/510/520. Se debe asegurar que las válvulas de recirculación y *bypass* de la bomba están todas cerradas; de igual forma, comprobar que las todas las salidas del filtro están correctamente cerradas excepto O1, que es por dónde saldrá el líquido que se filtre. Mezclar el coadyuvante *Cellite* con los destilados para asegurar mezcla homogénea. Hacer pasar todo por la línea 20-DIS-505.07-EC14. Vaciar todo el contenido de los reactores R-500/510/520 en el filtro. Se puede cerrar la línea de suministro de *Cellite* en este punto del proceso.

6.1.3 Pre-capa del filtro

Una vez se ha asegurado que todo el contenido de destilados se ha vertido en el filtro CF-505, lo cual se consigue aproximadamente a la media hora, se debe posicionar la válvula de tres vías TV505.01 de manera que el fluido vaya recirculándose al inicio de la línea. Esto tiene como objetivo poder recircular el fluido, formando una pre-capa en el filtro que facilitará la operación. Para ello, es necesario abrir la válvula BV505.08. Este proceso de recirculación se mantendrá durante una hora y media de manera ininterrumpida. Durante el proceso se podrá apreciar un ligero cambio en la medida del turbidímetro. Éste marcará emitirá 4 mA si la corriente todavía no está purificada; y 20 mA si el control de turbidez es positivo. Si el turbidímetro emite 0 mA significará que hay algún problema con el aparato o que no está midiendo correctamente.

⁴⁰ Debido a que la planta opera en forma de batch, no existe un manual de puesta en marcha y parada como tal, ya que cada ciclo conlleva implícitamente la puesta en marcha y parada de todos los equipos involucrados.

6.1.4 Filtrado

La operación de filtrado, que acostumbra a durar una hora, se alargará hasta que se cumplan las siguientes dos consignas⁴¹:

- a) que el turbidímetro emita señal de 20 mA, que indica que el fluido de salida está saliendo con una cantidad de DMT negligible o nula. Esta señal que modificará la posición de la válvula de triple vía (TT515.01), y se empezará a dirigir destilado libre de DMT hacia el intercambiador HX-505. Es especialmente importante asegurar (como ya se ha comentado en el apartado de verificaciones) que la red de vapores está operativa, ya que a partir del intercambiador HX-505 no es posible recircular en caso de error. Si se detecta que la temperatura a la salida del intercambiador no ha cambiado (mediante TT505.01), se cerrará inmediatamente desde el panel de control la válvula BV505.25 y se procederá a recircular la parte de fluido que no haya llegado al intercambiador cambiando el sentido de la válvula TV505.01. Es importante asegurar que la corriente de destilados llega al reactor B515 con una temperatura de al menos 60°C, ya que de lo contrario el proceso de destilación se alargará más de la cuenta para entrar dentro de especificación.
- b) que el medidor de presión PT505.02 detecte que la presión del filtro ha caído hasta 5.1 bar g. Esto indica que toda la cantidad de DMT inicial se ha separado satisfactoriamente y se encuentra en forma de torta en las “candelas” del filtro. En este momento se procederá a vaciar completamente lo que quede de líquido en el filtro mediante nitrógeno de 6 bar g y se sacudirán las tortas para que caiga todo el residuo sólido depositado. Éstos caerán por el fondo del filtro O2, y se acumularán en un contenedor habilitado especialmente para DMT. Una vez se confirme que todo el destilado ha pasado la etapa de filtrado, se realizará un lavado del filtro, y se retornarán todas las válvulas a sus posiciones iniciales para el siguiente ciclo.

6.1.5 Carga del reactor

El reactor B-515 se irá cargando a medida que haya finalizado el proceso de filtrado y el destilado llegue del intercambiador HX-505. Es importante asegurar que el agitador sólo empieza a funcionar una vez se ha alcanzado un 20% del nivel del depósito; lo mismo aplica para el sistema de vapor de la camisa térmica. A pesar de que ambos sistemas están programados adecuadamente para sólo encenderse cuando se cumpla este *set-point* (medido a través del radar guiado LIT515.01), debe tenerse en cuenta que si el agitador trabaja sin líquido puede empezar a dar vueltas, dañando el cierre mecánico y el depósito. En el caso de la camisa, si ésta se encuentra a una temperatura demasiado alta inicialmente, se empezará a destilar MPG demasiado rápido, lo cual puede dejar el producto fuera de especificación. Finalmente, como en cada parte del proceso, se debe asegurar que sólo las tubuladuras correspondientes están abiertas. En este caso, tan sólo la entrada al reactor, I1, debería estar abierta. La carga del reactor durará aproximadamente dos horas; para ese entonces deberá haberse alcanzado un grado de llenado⁴² del 65%.

6.1.6 Destilación

Una vez se haya comprobado que el reactor se ha cargado de manera satisfactoria, se iniciará la destilación del metanol que se encuentra en la mezcla de destilados. Se encenderá el sistema de calentado de la chaqueta térmica (el agitador debería estar funcionando ya para asegurar buena mezcla) y se abrirán las válvulas de las líneas de entrada y salida de fondos de la columna

⁴¹ No se dará por finalizado el filtrado hasta que ambas consignas se hayan alcanzado satisfactoriamente.

⁴² El reactor tiene una capacidad de 10000 L, y el volumen que ocupan los destilados ronda los 6500 L.

(63-DIS-515.03-EC5 y 20-MPG-515.04-EC5). De igual manera, se debe asegurar que la salida por cabeza está abierta y conectada al drum DR-515.01. De igual manera, se debe encender el sistema de refrigeración mediante agua glicolada del condensador COND-515.

El proceso de destilación dura unas 12 horas aproximadamente. De estas 12 horas, las 4 primeras la columna irá acumulando el destilado en el *drum* DR-515.01. Este destilado, de metanol puro, se aprovechará como subproducto del proceso. Al finalizar las 4 primeras horas, se intercambiarán las posiciones de las válvulas BV515.11 y BV515.14; de manera que se redirigirá el destilado hacia el drum DR-515.02. En este segundo *drum* se acumula el residuo de la reacción que, por motivos de baja pureza, no puede aprovecharse como subproducto. Este segundo corte dura 8 horas.

A lo largo del proceso de destilación, el MPG líquido que quedará en el fondo de la columna se redirigirá hacia el calderín y se irá acumulando, hasta obtener la pureza deseada. Es importante asegurar cierto nivel en la columna para que la destilación sea satisfactoria; motivo por el cual, aparte del sistema automatizado, se ha instalado el flotador lateral que se encuentra en los fondos de la columna. En caso de que el nivel del flotador sea muy bajo, se deberá revisar rápidamente la válvula de regulación SV515.03, ya que esto implica que puede haber un problema de destilación que pondría en peligro la especificación de los productos.

Al haber finalizado el proceso completo de destilación, el medidor de nivel debería encontrarse alrededor de un 28%; momento en que se procederá a cerrar todas las tubuladuras del reactor B-515 y se empezará a vaciar el MPG de pureza 99.5% a través de O2, que es la salida inferior. También se empezará a enfriar el reactor a través del sistema de refrigeración que va por camisa interna.

6.1.7 Enfriamiento MPG

En la etapa de enfriado del MPG, es importante asegurar que la red de agua glicolada funciona correctamente para que el MPG no se almacene sobrecalentado en el tanque. Si la temperatura de salida del intercambiador HX-515 supera los 40°C ⁴³(cosa que no debería pasar si se ha comprobado adecuadamente el sistema de refrigerado), saltará la alarma de temperatura TA515.02, en cuyo caso el responsable de turno deberá aumentar el caudal de agua para alcanzar una temperatura < 40°C. El MPG finalmente se envía a través de la bomba P515.01 hacia el parque de tanques, donde se almacenará en el depósito cilíndrico B-251.

Paralelamente, se procederá al vaciado de los *drums* de la columna. Para esto, se abrirán las válvulas de las líneas de nitrógeno de 2 bar. El contenido de DR505.01 se enviará a la envasadora X-418 para ser utilizado como metanol disolvente, mientras que el contenido del DR505.02 se mandará a la incineradora. Es importante que el operario asegure que ambos *drums* se han vaciado completamente, para que la destilación del siguiente ciclo pueda llevarse a cabo satisfactoriamente.

6.1.8 Análisis de muestras y descarga de productos

Una vez haya finalizado la destilación y el enfriado del MPG producto, este habrá llegado hasta el tanque B-251. Antes de poder descargar el producto y enviarlo a los clientes, se realizarán los correspondientes análisis/control de calidad en los laboratorios de Clariant. Para recoger las muestras será necesario que un operario recoja muestras del tanque utilizando la válvula de mariposa BV251.01. El análisis de las muestras puede durar hasta tres horas. Finalmente, cuando se haya dado el OK desde laboratorio se enviará el MPG a través de la línea 20-MPG-251.04-EC5.

⁴³ Se deben evitar las temperaturas de almacenamiento superiores a 40°C ya que dañan el producto.

6.2 Manual de mantenimiento

6.2.1 Mantenimiento general de las instalaciones

El mantenimiento general seguirá las instrucciones del art. 49 del reglamento MIE APQ-1 (ref. 19), punto 4. Siguiendo estas instrucciones, es importante remarcar:

1. Instalaciones de seguridad: se señalarán correctamente las áreas de manipulación y almacenamiento, según lo establecido por el RD 485/1997. También se instalarán duchas y lavaojos en las inmediaciones de los lugares de trabajo, especialmente en las zonas de carga y descarga, siguiendo la norma UNE-EN 15154. Finalmente se diseñará la ventilación de acuerdo al RD 374/2001.
2. Equipo de protección individual: se ajustará a los establecido a la Ley 31/1995.
3. Información y formación de los trabajadores: los procedimientos de operación estarán establecidos por escrito, y el personal de trabajo recibirá formación sobre las propiedades de los productos y la función y uso correcto de EPI's⁴⁴ e instalaciones.
4. Plan de mantenimiento: se mantendrá un registro de las revisiones revisadas y se revisarán periódicamente los equipos.
5. Plan de autoprotección: se realizará de acuerdo con los establecido en el artículo 11 del MIE-APQ 1.

Todos los equipos e instalaciones de Clariant cumplen actualmente con la normativa expuesta anteriormente. Para poder establecer un sistema de mantenimiento eficiente se ha evaluado la criticidad de cada uno de los equipos de la planta, utilizando como herramienta una Matriz de Riesgo. Finalmente se han asignado una serie de acciones en función de la criticidad del equipo y la filosofía de mantenimiento adoptada para dicho equipo.

Se define la criticidad de un equipo mediante la siguiente expresión:

$$\text{Criticidad} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencias} \quad (\text{E.6.1})$$

Tabla 6.1. Matriz de riesgo.

Leyenda				Probabilidad						
Frecuencia		Consecuencias		Consecuencias	1	2	3	4	5	
1	Improbable	$f \leq 10^{-6}$	1		Despreciable	B	B	B	M	M
2	Raro	$10^{-5} \geq f \geq 10^{-6}$	2		Menores	B	B	M	M	M
3	Poco probable	$10^{-4} \geq f \geq 10^{-5}$	3		Moderadas	B	M	M	M	A
4	Posible	$10^{-3} \geq f \geq 10^{-4}$	4		Mayores	M	M	M	A	A
5	Muy probable	$f \geq 10^{-3}$	5		Catastróficas	M	M	A	A	A

Frecuencia en ocurrencias/año | **B**: Baja | **M**: Media | **A**: Alta

Límites: **Baja:** $1 \leq \text{Criticidad} \leq 4$ | **Media:** $4 \leq \text{Criticidad} \leq 12$ | **Alta:** $15 \leq \text{Criticidad} \leq 25$

⁴⁴ EPI: Equipo de Protección Individual.

La definición de las consecuencias se ha realizado en base a la Tabla 6.2:

Tabla 6.2. Explicación de los criterios de Consecuencia

Cat.	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al medio ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Producción de 5 días (\approx 30000€).
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños reversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	Producción de 1 día (\approx 6000€).
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	25% de la producción diaria (\approx 1500€).
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas/enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	10% de la producción diaria (\approx 600€).
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes.	No hay pérdidas.

Tabla 6.3. Clasificación de Criticidad de los equipos y acciones de mantenimiento a emprender.

Equipo	Índice de Criticidad			Criticidad	Filosofía de mantenimiento	Plan de mantenimiento	
	Probabilidad	Consec.					
Bombas	G2: $2.5 \cdot 10^{-4}$	4	3	12	■	Preventivo	Mantenimiento semanal. Mirar la lubricación cada 3 meses.
HX-505	G3: 10^{-3}	5	2	10	■	Preventivo	Limpieza completa y revisión de los intercambiadores en paradas programadas o cada 3 meses. Comparar cada semana el coeficiente de transferencia de calor para prever <i>fouling</i> .
HX-515	G3: 10^{-3}	5	3	15	■	Predictivo	Revisión exhaustiva del interior de la columna y limpieza completa en cada parada programada. Si no, cada 6 meses. Igualmente revisar interior de depósito y camisa cada 3 años.
COND-515	G3: 10^{-3}	5	4	20	■	Predictivo	Revisión exterior del depósito cada año / interior cada 5 años.
Columna D-515	G2: $5 \cdot 10^{-6}$	2	5	10	■	Predictivo / Preventivo	Revisión visual diaria de líneas y válvulas. Cada 6 meses se revisarán las válvulas antirretorno y se testearán las reguladoras. Revisión estanqueidad aislamientos cada 6 meses.
Depósito B-251	G3: 10^{-4}	3	4	12	■	Preventivo	Se revisan cada año junto con los discos de ruptura.
Líneas proceso	G2: $5 \cdot 10^{-5}$	3	2	6	■	Preventivo / Reactivo	Calibrado anual de toda la instrumentación de planta.
PSVs	-	3	5	15	■ □	Predictivo	
Instrumentación	-	3	2	6	■	Preventivo	

NOTA: En esta tabla se ha categorizado la criticidad de cada equipo. Combinando la metodología de la matriz de riesgos con la teoría sobre los diferentes tipos de mantenimiento⁴⁵, se ha asignado una filosofía o combinación de filosofías de mantenimiento diferentes en función del grado de criticidad, priorizando mantenimiento predictivo para los equipos más críticos. Los fallos considerados para cada equipo han sido los más representativos extraídos del *Purple Book* y del *BEVI Risk Assessment* (refs. 21 y 22).

- Bombas Rotura catastrófica de la bomba o fuga por diámetro equivalente al 10% de la línea.
- Intercambiador Rotura de uno o varios tubos o problemas de *fouling* / vibración.
- Columna Fugas de líquidos, problemas de *weeping* o *flooding*, pérdida de integridad mecánica de componentes internos.
- Líneas Pequeñas fugas en líneas de proceso, fallo de servicios disponibles.
- Depósito Pérdida de integridad física del tanque, problemas de corrosión, fugas de producto.

⁴⁵ Los diferentes tipos de mantenimiento son el **reactivo**, en el que se realizan acciones tras la falla en el equipo; el **preventivo**, que consiste en tomar acciones que mantengan unos niveles determinados de servicio, y el **predictivo**, que busca conocer el estado y desgaste de los equipos y ajustar las acciones en base a ello.

7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este apartado se realiza el estudio económico sobre la viabilidad del proyecto expuesto. El contexto actual de la Empresa Clariant es el siguiente: actualmente los residuos provenientes de destilados de MPG se están quemando, ya que no pueden reutilizarse en otras partes de la planta. Estos costes ascienden a la suma de 500000€ anuales. Esta situación se denominará opción B, que es la actual. La propuesta de este proyecto, la instalación de la planta de recuperación, se denominará opción A. En los siguientes apartados se documentan los diferentes costes de la planta (fijos y variables⁴⁶), y finalmente se realiza el cálculo de la cuenta de resultados, con el correspondiente análisis de sensibilidad.

7.1 Costes fijos

Los costes fijos son aquellos que se realizan al inicio del proyecto de manera fija. En este caso, incluye toda la inversión en equipos, válvulas⁴⁷, instrumentación y el personal de instalación. Estos costes están agrupados en las tablas 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4, especificando el concepto, el número de unidades, su precio unitario y la referencia a través de la cual se ha obtenido la estimación.

Tabla 7.1. Costes de la inversión en equipos.

TAG equipo	Descripción	nº uds.	Precio / ud.(€)	Referencia.
P505.01A/B	Bomba centrífuga	2	1,662	Catálogo Grundfos (ref. 23)
P515.01A/B	Bomba centrífuga	2	1,069	
CF-505	<i>Candle filter</i>	1	25,000	Clariant (concreto)
B-251	Tanque MPG	1	65,964	Clariant (aprox.)
B-515	Reactor/calderín	1	100,000	Clariant (aprox)
A-515	Agitador	1	64,000	Clariant (concreto)
D-515	Columna empacada	1	30,000 Columna 6,510 Anillos	Clariant (concreto)
DR-515.01/02	<i>Drum</i> de destilados	2	16,000	Clariant (aprox)
HX-505	Intercambiador	1	7,305	<i>ASPEN Exchanger Design & Rating</i>
HX-515	Intercambiador	1	16,685	
COND-515	Condensador	1	17,476	
TOTAL EN CONCEPTO DE EQUIPOS:			333,362 €	

NOTA: “*Concreto*” indica que se ha extraído el precio de una oferta concreta de las compras de la empresa Clariant ya que el equipo es muy similar al de la oferta. “*Aproximado*” indica que el valor se ha calculado a través de interpolación lineal de precios de equipos de dimensiones similares.

⁴⁶ Los costes fijos son aquellos que no varían en función de la producción, mientras que los variables sí

⁴⁷ Debido a la magnitud de la planta, se han considerado negligibles los costes del material de tuberías.

Tabla 7.2. Costes de la inversión en válvulas.

Válvula	DN (mm)	nº uds. (nota 1)	Precio / ud.(€)	Coste total (€)	Ref.
Válvulas bola		74	-	62,774	
15		3	1,000	3,000	Clariant
20		7 / 2	1,000 / 120	8,240	Clariant
25		7 / 1	1,000 / 120	6,360	Clariant
32		15 / 8	1,100 / 231.3	18,350	Clariant
40		11 / 7	1,100 / 231.3	13,719	Clariant
50		6 / 3	1,360 / 119.2	8,995	Clariant
80, 100		3 / 2	1,500 / 400	5,300	Clariant
Válvulas check		13	-	1,263	
25		7	75	525	Clariant
32		1	75	75	Clariant
40		2	104	208	Clariant
50		2	117.2	234.4	Clariant
100		1	221	221	Clariant
Válvulas de asiento		6	-	1175	
15		2	100.2	200.5	Clariant
25		1	127.6	127.6	Clariant
32		1	163.3	163.3	Clariant
50		1	240.0	240.0	Clariant
80		1	443.3	443.3	Clariant
PSV	Varios	4	500	2,000	Clariant
Otras		9	-	5,374	
Expansión		2	300	600	Clariant
Trampa vapor		2	364.6	729	Clariant
Válvula mariposa		1	1,000	1,000	Clariant
Válvula de compresión		1	300	300	Clariant
Válvula de pinza		1	245	245	Clariant
Válvula de triple vía		1	1,500	1,500	Clariant
TOTAL EN CONCEPTO DE VÁLVULAS:				174,184 €	

NOTA 1: En el caso de las válvulas de compuerta, los precios varían drásticamente si la válvula está automatizada o no. Como guía, el número a la izquierda será el número y precio de válvulas automatizadas, y a la derecha los análogos en manual.

NOTA 2: Para conocer concretamente los modelos y proveedores de las válvulas, consultar el listado de válvulas, Tabla 4.7.

Tabla 7.3. Costes de la inversión en instrumentos.

Instrumento	nº uds.	Precio / ud.(€)	Coste total (€)	Referencia
Explosímetros	6	1,000	6,000	Clariant
Transmisores T	6	3,44	2,064	Clariant
Turbidímetro	1	3,000	3,000	Catálogo ANISOL
Transmisores P abs.	5	1,192	5,960	Clariant
Transmisores P dif.	1	1,400	1,400	Clariant
Disco Ruptura	2	300	600	Clariant
Medidores de nivel	5	250	1,250	Catálogo OMEGA
Controladores	9	150	1,350	Clariant
Medidores flujo	2	5,585	11,170	Clariant
<i>High Level Alarm</i> (Vibratorio)	1	1,193.84	1,194	Clariant
Componentes de señal / cableado	-	<i>10% del coste de inversión total⁴⁸</i>	57,809.5	-
TOTAL EN INSTRUMENTOS:			91,845.3 €	

NOTA: Para conocer concretamente los modelos y proveedores de los instrumentos, consultar el listado de instrumentos, Tabla 4.12.

Respecto a los costes de operación/personal, cabe destacar los siguientes puntos:

- La instalación de la unidad durará unos dos meses. La pareja de paletas trabajará durante el primero, y luego un equipo de dos eléctricos y otro equipo de un tubero/soldador trabajaran de manera intercalada, comenzando el tubero y el soldador en la semana 2.
- No se consideran costes de mantenimiento de los equipos ya que con la apertura de la nueva planta *Olive*⁴⁹ de Clariant habrá suficiente personal para afrontar este proyecto. Se considerará una persona encargada de operar la planta, cuyo salario rondará los 60000 euros.

Tabla 7.4. Costes de la contratación de personal de instalación.

Personal	Número	Salario (€/h)	H. trabajadas	Total (€)
Paletas	2	20	48	1,920
Eléctricos	2	24	144	6,912
Tubero	1	24	192	4,608
Soldador	1	28	192	5,376
TOTAL EN CONCEPTO DE INSTALACIÓN:				18,816 €

NOTA: Se considera la siguiente rotación:

Paletas: 1ª semana, 6 días, 8 horas por día.

Eléctricos: 3ª, 5ª y 7ª semana, 6 días, 8 horas por día.

Tubero/soldador: 2ª, 4ª, 6ª y 8ª semana, 6 días, 8 horas por día.

⁴⁸ Se ha utilizado este criterio de manera heurística para establecer el coste de implementación de instrumentos.

⁴⁹ Este proyecto de Clariant consiste en una planta de producción de escualeno y escualano, que comenzará a operar a partir de septiembre de 2018.

7.2 Costes variables

Son aquellos que pueden cambiar en función de la producción de la planta de manera considerable. Debe tenerse en cuenta para estos apartados que la producción de la planta se estima que aumenta en un 50% para dentro de 10 años, pero los números que se han utilizado en este cálculo son las cifras actuales con las que empezaría a operarse.

7.2.1 Costes de producción

Se considera que el coste asociado de incinerar toda la cantidad de residuo acumulado por año son 0.5M€ (opción B). Adicionalmente, si se decide recuperar parte del residuo, aquellas sustancias que finalmente tengan que incinerarse (ya sea porque no es posible recuperarlas o porque su pureza no se ajusta al grado técnico 99.5%) supondrán un coste adicional del 50% que se sumará a las pérdidas consideradas. El *profit margin* de la opción A está en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5. *Profit margin* de la opción A (instalación de la planta de recuperación).

Materias/Productos	Cantidad (t/año)	Precio (€/kg)	Total (€)
<i>Flujos positivos (Ingresos): 314,698.6 €</i>			
MeOH	105.65	0.40	42,259.0
MPG	204.90	1.19	243,830.7
<i>Flujos negativos (Pérdidas): 164,258.8 €</i>			
MeOH	114.50	0.40	68,701.5
MPG	25.920	1.19	46,267.2
DMT	25.455	0.90	34,357.5

NOTA: Comparativamente, el balance de la opción B son pérdidas de 0.5M€ cada año.

7.2.2 Costes derivados de las *utilities*

Son los costes asociados con la operación de la planta. Se tienen en cuenta todas las *utilities* necesarias para el funcionamiento de la planta: vapor, electricidad, agua de refrigeración...

Tabla 7.6. Balance de costes de operación de la planta.

Utility	Coste unitario	Cantidad diaria	Coste (€)
Agua glicolada 5°C	0.07 €/m ³	HX-515: 24.9 m ³ /h - 12 horas. COND-515: 8.46 m ³ /h - 2 horas. Total: 23679 m³/año	1,657.5
Vapor 15 bares	43.64 €/tonelada	HX-505: 7593 kcal/h = 0.016 t/h Camisa B-515: 26586.4 kcal/h = 0.057 t/h Total: 132.4 t/año	5,778.7
Electricidad	0.0923 €/(kW·h)	P505.01: 1.1 kW - 1h P515.01: 0.37 kW - 2h Agitador A515: 20 kW - 2h Total: 75312 kW/año	6,951.3
COSTES ASOCIADOS DE OPERACIÓN:			14,387.6

NOTA: Los costes se calculan sobre 75 días, que es el número de días que operará al año para recuperar los residuos la planta.

7.2.3 Costes derivados de operación

Se han fijado como costes derivados de operación unos **60,000 €**, que es el salario anual típico de un técnico para operar una planta en Clariant.

7.3 Cuenta de resultados

Se han calculado los diferentes flujos de caja estableciendo un horizonte temporal de $n = 10$ años. Se sume una tasa de interés $t = 25\%$ y un coste de oportunidad k del 12.5% .

Tabla 7.7. Balance de costes de la planta (opciones A y B, todos los costes en euros).

Año	Inversión (€)	Ingresos (€)	Pérdidas (€)	BAI (€)	Impuestos (€)	BDI (€)
0	655.248.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
2	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
3	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
4	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
5	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
6	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
7	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
8	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
9	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2
10	0.0	286,089.6	223,713.7	25,336.2	6,334.1	19,002.2

Año	A* (€)	CF _{iA} (€)	CF _{iB} (€)	ΣCF _{iA} (€)	ΣCF _{iB} (€)	ΣCF _{dif} (€)
0	0.0	-655,248.2	0.00	-655,248	0	-655,248.19
1	37,040.2	49,815.5	-444,444.44	-605,433	-444,444	-160,988.27
2	37,040.2	44,280.4	-395,061.73	-561,152	-839,506	278,353.88
3	37,040.2	39,360.4	-351,165.98	-521,792	-1,190,672	668,880.24
4	37,040.2	34,987.0	-312,147.54	-486,805	-1,502,820	1,016,014.78
5	37,040.2	31,099.6	-277,464.48	-455,705	-1,780,284	1,324,578.82
6	37,040.2	27,644.1	-246,635.09	-428,061	-2,026,919	1,598,857.96
7	37,040.2	24,572.5	-219,231.19	-403,489	-2,246,150	1,842,661.65
8	37,040.2	21,842.2	-194,872.17	-381,647	-2,441,023	2,059,376.03
9	37,040.2	19,415.3	-173,219.71	-362,231	-2,614,242	2,252,011.04
10	37,040.2	17,258.0	-153,973.07	-344,973	-2,768,215	2,423,242.16

n: año en que se evalúa la inversión. **Pérdidas:** costes operacionales + flujos. **A*:** amortización. **CF:** Cash Flow.

CF_i: Cash Flow calculado para un horizonte temporal determinado teniendo en cuenta la depreciación.

CF_{dif}: Cash Flow acumulado para un horizonte temporal determinado teniendo en cuenta la depreciación.

El VAN (Valor Actual Neto) calculado es de $-344,973.3$ € para la opción A y de $-2,768,215.4$ € para la opción B. Teniendo en cuenta que escoger la opción A implica ahorrar todos los gastos asociados con la opción B, **el VAN resultante para la opción A es de $+2,423,242.16$ €.**

El período *Payback* o *Break Even Point* se alcanza aproximadamente a 1.2 años de la inversión, por lo tanto se considera que **toda la inversión se ha recuperado en el segundo año.**

Finalmente, la TIR es del 84.68% considerando los ahorros generados respecto la opción B.

Se adjunta en la Figura 7.1, como guía visual, una representación de los flujos de caja a lo largo de los 10 años iniciales de vida del proyecto, en la cual se puede apreciar cómo la opción A es notoriamente superior (en realidad, la mayor parte del beneficio proviene de poder dejar de incinerar residuos).

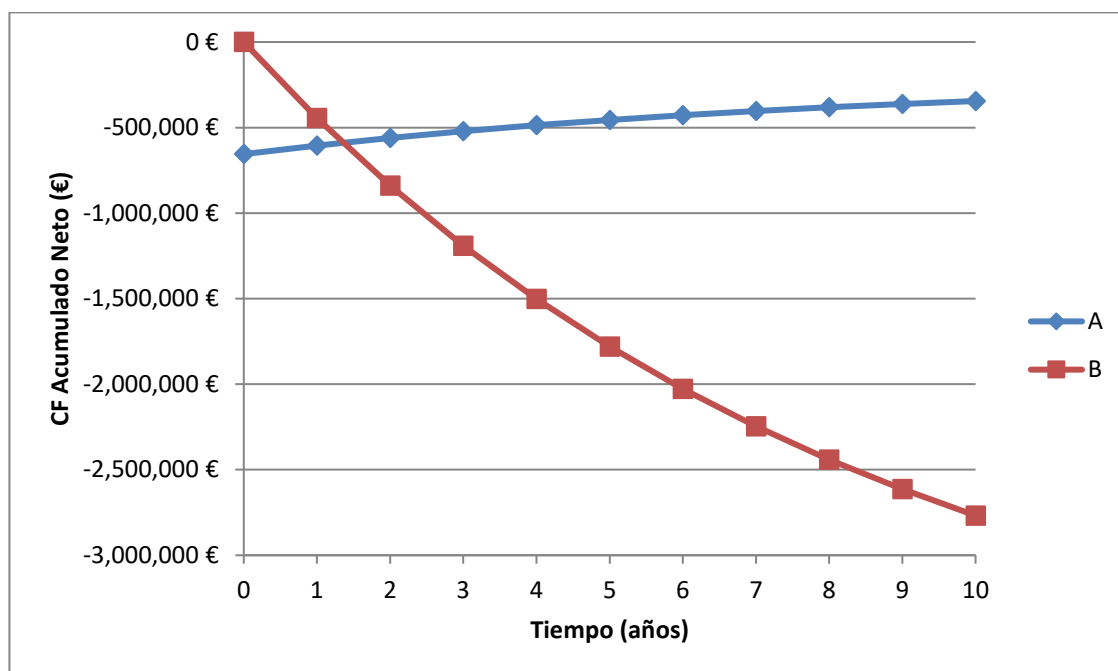


Figura 7.1. Evolución económica de ambas opciones en el tiempo.

7.4 Análisis de sensibilidad

Una vez determinada la cuenta de resultados, se realiza el análisis de sensibilidad (ref. 24), que funciona como plan de contingencia a la hora de tomar la decisión de invertir en el proyecto. Éste consiste en suponer diferentes casos que puedan alterar drásticamente el resultado final de la cuenta de resultados, y por tanto pueden influir en la decisión final que es invertir o no en el proyecto.

Tabla 7.8. Escenarios supuestos para el análisis de sensibilidad.

Caso	Descripción	Clasificación
A	Combinación A ₁ + A ₂ .	Optimista
A ₁	Precio del MPG y el MeOH aumenta en un 10%.	
A ₂	Coste de inversión inicial de equipos/accesorios baja un 10%.	
B	Los costes asociados del proyecto no cambian.	Probable
C ₂	Coste de inversión inicial de equipos/accesorios sube un 10%.	Pesimista
C ₁	Precio del MPG y el MeOH disminuye en un 10%.	
C	Combinación C ₁ + C ₂ .	

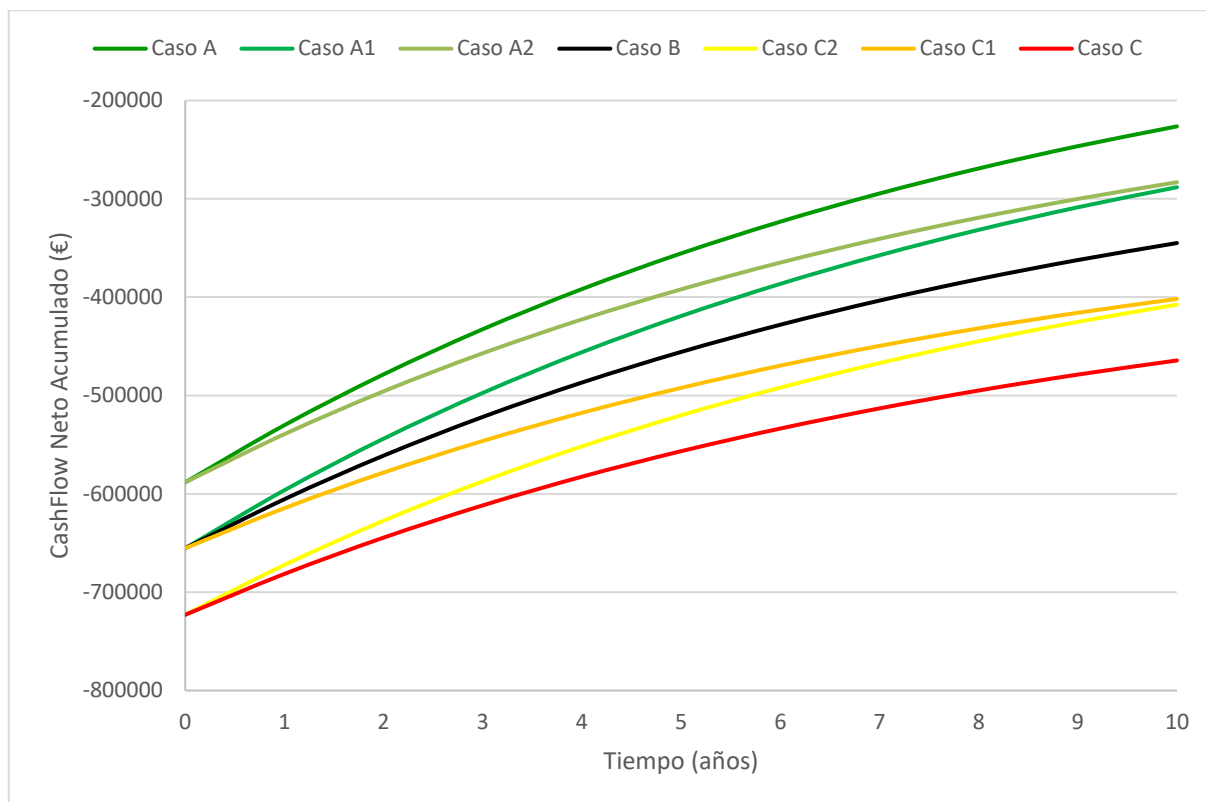


Figura 7.2. Análisis de sensibilidad para la opción A (aislada).

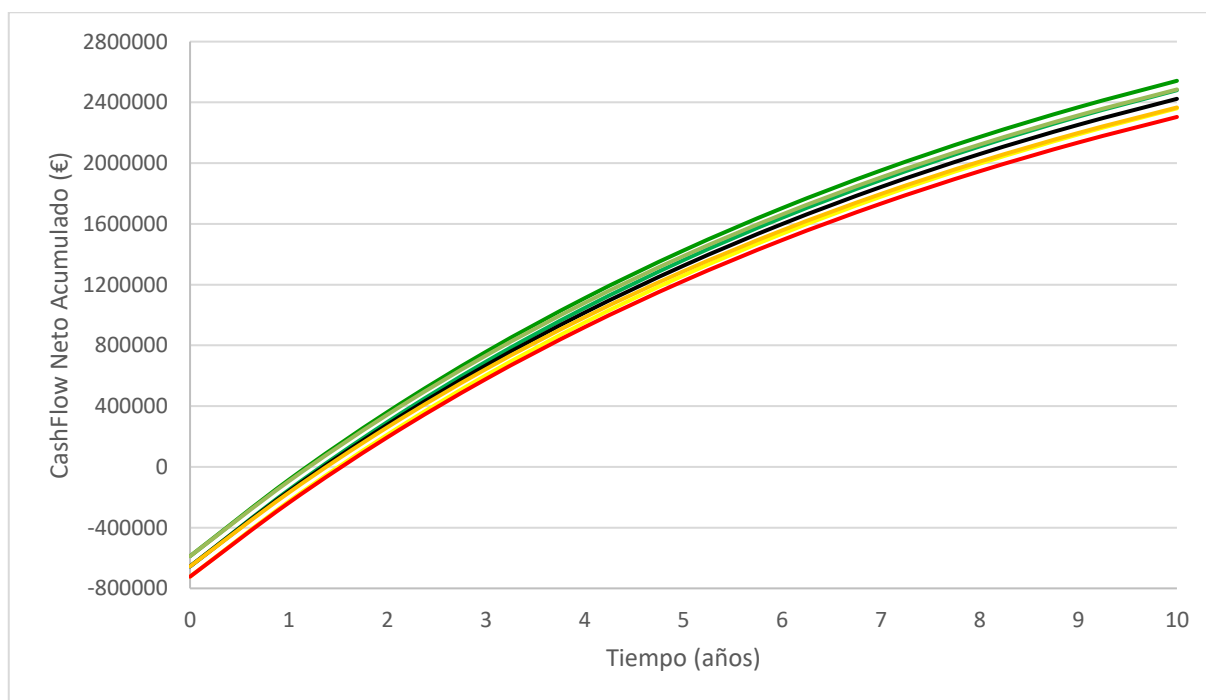


Figura 7.2. Análisis de sensibilidad para la opción A (ahorros considerados).

Se puede observar cómo, gracias al ahorro que genera poder reutilizar los residuos, el beneficio generado es extremadamente robusto: se puede afirmar con mucha seguridad que instalar la planta de recuperación de propilenglicol generará unos beneficios de ≈ 2.42 M€ en 10 años.

8 CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proyecto, se concluyen los siguientes puntos:

Se ha cumplido el objetivo de recuperación del producto principal, propilenglicol, con una fracción de recuperación del 88%, es decir, 204.9 toneladas anuales. A mitad de proyecto se decidió fijar como objetivo secundario la recuperación de una fracción considerable de metanol. Actualmente esa fracción es del 47.8%, lo que equivale a 105.6 toneladas anuales.

A pesar de que se han utilizado de manera satisfactoria los diferentes programas de simulación para resolver los balances de materia y problemas de diseño a lo largo del proyecto (AspenPlus®, BatchModeler®, EDR®), queda pendiente una simulación completa de todo el sistema *Batch* de forma dinámica, y no sólo de los elementos aislados (o en su defecto, el estado estacionario que poca información proporciona), que puede ser interesante de cara a futuros proyectos donde se quiera recuperar el máximo posible de metanol subproducto.

Se ha llevado a cabo una clasificación de zonas ATEX y un estudio de seguridad HazOp para determinar posibles iniciadores de accidentes a causa de fallos operacionales; y se han tomado medidas preventivas para evitarlos, aumentando así la seguridad intrínseca de la planta. Estos dos estudios pueden constituir un material útil para futuros documentos de mayor envergadura, como puede ser los Análisis Cuantitativos del Riesgo (ACR) o Informes de Seguridad (IS).

La instalación de la planta de recuperación de propilenglicol es perfectamente viable desde el punto de vista económico. De hecho, debido a las abismales pérdidas que genera mantener el ritmo de incineración de residuos, es extremadamente recomendable alterar la estructura de la planta (ya sea con este proyecto u otro) a nivel económico. La previsión de aumentar la cantidad de propilenglicol a tratar en la planta hace que la inversión sea aún más atractiva. Las conclusiones del estudio es que el proyecto general un valor neto de 2.42 M€, con una tasa interna de retorno sobre la inversión del 84.7% y un período *Payback* de tan sólo dos años.

No se ha realizado ningún estudio medioambiental o social para la implantación de la nueva unidad, por lo tanto no puede determinarse si la planta sigue un paradigma de diseño sostenible.

Bajo todas estas premisas, la construcción de esta planta de recuperación de propilenglicoles en la empresa Clariant es una interesante propuesta de *revamping* que debería tenerse en cuenta para futuras inversiones.

9 BIBLIOGRAFÍA

- (ref. 1) *The History of Science and Technology*. Houghton Mifflin Harcourt. p.88.; Bryan H. Bunch; Alexander Hellemans (2004).
- (ref. 2) *Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process*; Saaty, Thomas L. (2008-06). *RACSAM* (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics) 102 (2): 251-318.
- (ref. 3) <http://www.solidliquid-separation.com/pressurefilters/candle/candle.htm> [Consultado el 12 de diciembre de 2017].
- (ref. 4) <http://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/Filtration/BagandCartridgeFiltration/index.htm> [Consultado el 5 de diciembre de 2017].
- (ref. 5) *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, McCabe et al., 4ª Ed., McGraw-Hill, 1991.
- (ref. 6) <https://TLv.com/global/LA/steam-theory/steam-trap-selection-part-1.html> [Consultado el 20 de mayo de 2018].
- (ref. 7) TEMA Standards 10th Edition - Tubular Exchanger Manufacturers Association.
- (ref. 8) http://www.engineeringpage.com/technology/thermal/fouling_factors.html [Consultado el 10 de marzo de 2018].
- (ref. 9) <https://www.chemicalprocessing.com/articles/2013/shell-and-tube-heat-exchanger-best-practices/> [Consultado el 1 de marzo de 2018].
- (ref. 10) *Methanol Plant Theory of Distillation*; Gerard B. Hawkins.
- (ref. 11) *Modeling and Simulation of a Distillation Column using ASPEN PLUS for separating methanol/water mixture*; Rather, M.; Lone, S. *International Journal of Scientific and Engineering Research* - March 2015.
- (ref. 12) <https://patents.google.com/patent/US4210495A/en> [Consultado el 13 de febrero de 2018].
- (ref. 13) *Diseño de platos perforados para columnas de destilación Parte I*, F. López, F. Francesc, Facultad de Química de Tarragona.
- (ref. 14) *HETP Evaluation of Structured and Randomic Packing Distillation Column*, M. Fernandes, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- (ref. 16) *Structural and Economical Optimization of Welded Steel Storage Tanks*, L. Roncetti, 21st Brazilian Congress of Mechanical Engineering.
- (ref. 17) REAL DECRETO 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. BOE nº 145 18/06/2003.
- (ref. 18) NTP 238: *Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso*; Bestratén Belloví, M.; Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

- (ref. 19) *Almacenamiento de Líquidos inflamables y combustibles*. Ministerio de ciencia y tecnología.
- (ref. 20) http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Criticidad.pdf [Consultado el 25 de mayo de 2018]
- (ref. 21) *Guidelines for quantitative risk assessment*, Committee for the prevention of the disasters, Ed. Den Haag.
- (ref. 22) *Reference Manual Bevi Risk Assessments*, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), version 3.2.
- (ref. 23) <https://es.grundfos.com/tarifadeprecios.html> [Consultado el 23 de mayo de 2018]
- (ref. 24) *Dirección Financiera: Decisiones de Inversión*, Gava, L.; E. Roperó; G. Serna y A. Ubierna, Ed. Delta, 2008. [Consultado el 27 de mayo de 2018]

ANEXO 1

FICHAS DE SEGURIDAD



NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

PROPILENGLICOL (MPG) GRADO USP/EP

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1 Identificador del producto

Nombre comercial	PROPILENGLICOL (MPG) GRADO USP/EP
Nombre Químico	1,2-propanodiol.
Sinónimos	1,2-dihidroxiopropano, metiletilenglicol.
Nº CAS	57-55-6
Nº CE (EINECS)	200-338-0
Nº Índice (Anexo VI Reglamento CE Nº 1272/2008)	NP
Nº Registro	01-2119456809-23-0004
Nº Autorización	NP

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

- Fabricación de sustancias.
- Distribución de sustancia.
- Formulación y (re)envasado de sustancias y mezclas.
- Utilización como agente de limpieza.
- Utilización como agentes ligantes o antiadherentes.
- Fluidos funcionales.
- Utilización en laboratorios.
- Producción y procesado del caucho.
- Procesos de polímeros.
- Productos químicos para tratamientos de agua.
- Utilización en operaciones de minería.
- Utilización para recubrimientos.
- Aplicaciones como descongelante o antihielo.
- Utilización en agroquímica.
- Otros usos del consumidor:
 - Fragancias
 - Cosméticos
 - Parafarmacia
 - Cuidado personal
 - Alimento para mascotas y animales

1.3 Datos del proveedor de la nota informativa de seguridad del producto

Empresa	REPSOL QUÍMICA, S.A.
Dirección	Méndez Álvaro, 44 28045 - MADRID, España
Teléfono	+34 917538000/+34 917538100
Fax	+34 902303145

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

Correo electrónico

SDSChemicals@repsol.com

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla	2.2 Elementos de la etiqueta	
Clasificación Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Etiquetado	
NP	Pictogramas	NP
	NP	
	Palabra de advertencia	NP
	Indicaciones de peligro	NP
	Información suplementaria	NP
	Consejos de prudencia	NP

2.3 Otros peligros

Los resultados de la valoración PBT y mPmB del producto, de conformidad con los criterios establecidos en el anexo XIII del reglamento REACH, se pueden consultar en la sección 12.5 de esta nota informativa de seguridad del producto.

La información relativa a otros peligros, diferentes a los de la clasificación, pero que, pueden contribuir a la peligrosidad general del producto, se puede consultar en las secciones 5, 6 y 7 de esta nota informativa de seguridad del producto.

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

1,2-propanodiol con un grado de pureza superior al 99% .

Componentes peligrosos Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Concentración (%)	Indicaciones de peligro
NP		

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS**4.1. Descripción de los primeros auxilios**

Inhalación: Sacar a la persona afectada al aire libre.
Mantener a la persona afectada quieta y abrigada.

Ingestión/aspiración: Si la persona afectada está consciente darle de beber agua.

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

NO INDUCIR EL VÓMITO.

No dar nada oralmente si el afectado está inconsciente o con convulsiones.

Solicitar asistencia médica urgente.

Contacto con la piel: Lavar la parte afectada con abundante agua durante al menos 15 minutos.

Contacto con los ojos: Mantener los párpados abiertos y lavar con abundante agua durante al menos 15 minutos.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

Inhalación: Es una vía muy difícil debido a su baja volatilidad, aunque prolongadas exposiciones a atmósferas saturadas pueden producir irritación del aparato respiratorio.

Ingestión/aspiración: Puede causar efectos adversos sobre el sistema nervioso central. Otros efectos pueden incluir excitación, euforia, dolor de cabeza, mareos, somnolencia, visión borrosa, fatiga, temblores, convulsiones, pérdida de consciencia, coma e incluso la muerte por fallo respiratorio.

También puede causar daño renal y hematológico (hemoglobinuria).

Reduce la presión intraocular por aumento de la presión osmótica de la sangre.

DL50: 20 g/kg (oral-rata).

Contacto con la piel: En contacto con la piel puede causar irritación, probablemente por deshidratación; enrojecimiento, picazón e inflamación.

Puede ser absorbido a través de la piel.

En algunos casos por repetidos contactos pueden causar reacciones alérgicas e irritación severa con aparición de vesículas y edema debido, seguramente, a la retención del sudor.

Puede causar ligera irritación, lacrimación y sensación de quemadura.

DL50: 20.8 g/kg (dermal-conejo).

Contacto con los ojos: En algunos casos por repetidos contactos pueden causar reacciones alérgicas e irritación severa con aparición de vesículas y edema debido, seguramente, a la retención del sudor.

Ligeramente irritante en contacto con los ojos.

Puede causar ligera irritación, lacrimación y sensación de quemadura.

DL50: 20.8 g/kg (dermal-conejo).

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Realizar un tratamiento sintomático. El tratamiento de una sobreexposición debe centrarse en el control de los síntomas y en la condición clínica del paciente. Solo irrita ligeramente las membranas mucosas y la piel. También es de baja toxicidad tras una ingestión aguda. Tras la absorción de dosis elevadas, es posible que se produzcan efectos como depresión de sistema nervioso central. Los vapores calientes pueden dañar los pulmones.

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados: Producto químico seco, espuma resistente al alcohol, dióxido de carbono, agua pulverizada.

Contraindicaciones: Corriente de agua sólida.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Productos de combustión: CO₂, H₂O y CO (en ausencia de oxígeno).

Medidas especiales: Sacar el recipiente de la zona de fuego si puede hacerse sin riesgo. El agua pulverizada aplicada sobre la superficie da lugar a la formación de espumas que ayudan a sofocar el incendio. Consultar y aplicar planes de seguridad y emergencia.

Peligros especiales: El calor del propio fuego puede generar vapores inflamables. Al mezclarse con el aire y quedar expuesta a una fuente de ignición, los vapores pueden arder en espacios abiertos o explotar en espacios confinados. Los vapores pueden ser más pesados que el aire. Puede llegar a recorrer distancias largas a ras de superficie antes de arder y reproducir el incendio de una fuente de vapor. Los pulverizadores y las nieblas finas pueden ser combustibles a temperaturas por debajo del punto de inflamación. Trate de apagar el incendio guardando una distancia de seguridad o desde un lugar protegido. El calor puede ejercer la suficiente presión como para reventar contenedores cerrados/extender las llamas/aumentar el riesgo de quemaduras/heridas. Use agua pulverizada, niebla de agua o espuma. Evite la formación de espuma y las explosiones de vapor. El líquido ardiendo puede flotar en el agua. Aunque es soluble en agua, puede que no resulte práctico intentar apagar el fuero con una dilución de agua. Advierta inmediatamente a las autoridades si el líquido alcanza aguas públicas o la red de alcantarillado.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios:

Guantes y trajes resistentes al calor. Equipo de respiración autónoma en caso de elevadas concentraciones de vapores o humos densos.

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Precauciones personales: Evitar el contacto con el líquido y la inhalación de vapores del producto.

Protección personal: En presencia de vapores, usar máscara de protección respiratoria si es necesario.

Gafas de seguridad, guantes impermeables u otras prendas protectoras no degradables por el producto para evitar el contacto con el producto líquido.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Evitar los vertidos al alcantarillado y cauces públicos.

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

Evitar la dispersión del producto.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Extinga toda fuente de ignición.

Detenga la emisión; evite que llegue a aguas públicas o a la red de alcantarillado.

Advierta a las autoridades contra incendios y medioambientales.

Embalse/Reúna los vertidos grandes en tierra; absorba los vertidos pequeños con sólidos inertes.

Absorba los vertidos pequeños con sólidos inertes.

Use contenedores adecuados para su eliminación.

El material es poco soluble en agua y puede flotar o hundirse.

Contenga/Recoja rápidamente el material para minimizar la dispersión.

Disperse los residuos para reducir el daño acuático.

Informe de acuerdo a la normativa.

6.4. Referencia a otras secciones

El apartado 8 contiene consejos más detallados sobre los equipos de protección individual y el apartado 13 sobre la eliminación de los residuos.

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Precauciones generales: Llevar equipos de protección adecuados, para evitar el contacto o la inhalación prolongada de vapores.

No fumar, comer y beber durante la manipulación del producto.

Lavarse las manos usando un jabón.

Eliminar todas las posibles fuentes de ignición del área de manejo y almacenamiento del material; evitar chispas, llamas, electricidad estática.

Condiciones específicas: Sistema de ventilación local eficiente.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Temperatura y productos de descomposición: A elevadas temperaturas el producto puede descomponerse produciendo humos tóxicos e irritantes.

Reacciones peligrosas: NP

Condiciones de almacenamiento: Mantenga el recipiente bien cerrado.

Protéjalo de la humedad.

Almacénelo alejado del calor.

Recomendación para su almacenamiento habitual:

Acero al carbono o dulce, con un recubrimiento interno adecuado, o acero inoxidable.

Materiales incompatibles: El material puede afectar a varios tipos de plástico.

No lo almacene junto a productos oxidantes o autoinflamables.

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

7.3. Usos específicos finales

Ver apartado 1 ó escenario de exposición

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

No han sido establecidos niveles de exposición para este producto.
--

DNEL DNELs para trabajadores

Efecto sistémico, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día) : No cuantificable
Efecto sistémico, exposición aguda, Inhalación (mg/m³): No cuantificable
Efecto local, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día): No cuantificable
Efecto local, exposición aguda, Inhalación (mg/m³): No cuantificable
Efecto sistémico, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día) : No cuantificable
Efecto sistémico, exposición prolongada, Inhalación (mg/m³) : 168
Efecto local, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): No cuantificable
Efecto local, exposición prolongada, Inhalación (mg/m³): 10

DNELs para la población

Efecto sistémico, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día) : No cuantificable
Efecto sistémico, exposición aguda, Inhalación (mg/m³): No cuantificable
Efecto sistémico, exposición aguda, Oral (mg/kg bw /día): No cuantificable
Efecto local, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día): No cuantificable
Efecto local, exposición aguda, Inhalación (mg/m³): No cuantificable
Efecto sistémico, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): No cuantificable
Efecto sistémico, exposición prolongada, Inhalación (mg /m³): 50
Efecto sistémico, exposición prolongada, Oral (mg /kg bw /día): No cuantificable
Efecto local, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): No cuantificable
Efecto local, exposición prolongada, Inhalación (mg/m³): 10

PNEC PNEC agua

PNEC agua dulce (mg/L): 260 (factor de evaluación: 50)
PNEC agua marina (mg/L): 26 (factor de evaluación: 500)
PNEC agua, liberaciones Intermitentes (mg/L): No cuantificable

PNEC sedimentos

PNEC sedimentos (agua dulce) (mg/kg d.w.): 572
PNEC sedimentos (agua marina) (mg/kg d.w.): 57.2

PNEC suelo

PNEC suelo (mg/kg.w.): 50

PNEC Planta de tratamiento de aguas residuales (mg/L): 20000 (factor de evaluación:1)

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

PNEC Envenenamiento secundario oral

PNEC oral (mg/kg alimento): 1133 (factor de evaluación: 30)

8.2 Controles de la exposición

Ventilación local adecuada. No fumar y evitar todas las fuentes de ignición. Evitar el contacto con la piel o los ojos y la inhalación de vapores.

Equipos de protección personal

Protección respiratoria: En presencia de concentraciones elevadas de vapores, utilizar máscara de protección respiratoria con filtro para vapores orgánicos.

Protección cutánea: Guantes, ropa de protección y calzado adecuado.

Protección ocular: Gafas de seguridad o protección facial para evitar salpicaduras.

Otras protecciones: Duchas y lavajojos en el área de trabajo.

Prácticas higiénicas en el trabajo: Las buenas prácticas en el trabajo y la adopción de medidas higiénicas personales, reducen exposiciones innecesarias. Deben usarse duchas de agua caliente. Usar jabón y no otros disolventes. Tanto la ropa como los útiles deben cambiarse frecuentemente y limpiarse en seco. La ropa muy contaminada debe cambiarse inmediatamente. Debe revisarse el estado de los guantes para evitar una contaminación interna. Utilizar cremas para la piel después del trabajo.

Condiciones médicas agravadas por la exposición: Problemas dermatológicos.

Controles de exposición medioambiental:

El producto no debe alcanzar el medio a través de desagües ni del alcantarillado. Las medidas a adoptar en caso de vertido accidental se pueden consultar en la sección 6 de esta nota informativa de seguridad del producto.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto: Líquido

Olor: Inodoro.

Umbral olfativo : NP

Color: Incoloro.

Valor pH: NP

Punto fusión/Punto de congelación : -60 °C

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición : 189 °C

Punto de inflamación : 98.9 °C

Tasa de evaporación : NP

Inflamabilidad (sólido, gas) : Combustible.

Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad : Lím. inferior explosivo: 2.6%

Lím. superior explosivo: 12.6%

Presión de vapor : 0.07 mmHg (20 °C)

Densidad de vapor : 2.62 (aire:1)

Densidad : 1.0361 g/cm³ a 20 °C

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

Solubilidad(es) : Alcohol, éter, benceno, acetona, cloroformo.
Coeficiente de reparto n-octanol/agua : -0.92
Temperatura de auto-inflamación : 400 °C
Temperatura de descomposición : NP
Viscosidad : (20 °C) 0.581 Poise
Propiedades explosivas : NP
Propiedades comburentes : NP

9.2 Información adicional

Tensión Superficial: 40.1 dinas/cm a 25 °C
Hidrosolubilidad: Soluble
Peso molecular: 76.11 g/mol Calor de vaporización: 168.6 cal/g

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. Reactividad: NP

10.2. Estabilidad química: Material estable a temperatura ambiente aunque tiende a oxidarse a altas temperaturas.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas: Materiales oxidantes, metales.

10.4. Condiciones que deben evitarse: Altas temperaturas y exposición a la luz solar.

10.5. Materiales incompatibles: NP

10.6. Productos de descomposición peligrosos: Productos de combustión: CO (en defecto de oxígeno), CO₂, H₂O. Por descomposición térmica se pueden producir humos tóxicos e irritantes.

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

La información toxicológica facilitada resulta de la aplicación de los anexos VII a XI del reglamento 1907/2006 (REACH).

Toxicidad aguda: NP

Corrosión o irritación cutáneas: No irritante.

Lesiones o irritación ocular graves: No irritante.

Sensibilización respiratoria o cutánea: No sensibiliza.

Mutagenicidad en células germinales: Negativa.

Carcinogenicidad: No cancerígeno.

La clasificación del producto se corresponde con la comparación de los resultados de los estudios toxicológicos realizados con los criterios que figuran en el Reglamento (CE) nº

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

1272/2008 para los efectos CMR, categorías 1A y 1B.

Toxicidad para la reproducción: Este producto no es considerado tóxico para el desarrollo.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única: NP

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida: NP

Peligro de aspiración: NP

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1. Toxicidad: NP

12.2. Persistencia y degradabilidad: Este producto se considera fácilmente biodegradable.

12.3. Potencial de bioacumulación: De acuerdo a la columna 2 del Anexo IX de REACH, no es necesario llevar a cabo un estudio de bioacumulación, ya que se espera que la sustancia posea un bajo potencial de bioacumulación.

12.4. Movilidad en el suelo: NP

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB: La sustancia no cumple todos los criterios específicos que se detallan en el Anexo XIII o no permite realizar una comparación directa con todos los criterios del Anexo XIII, pero sin embargo, se señala que la sustancia no presentaría todas estas propiedades y la sustancia no se considera un PBT/vPvB. Las conclusiones globales, en base a los datos disponibles actualmente, de la evaluación PBT preliminar son que no se cumplen los criterios (de selección) de PBT/mBmP y que no se considera obligatorio realizar más pruebas en relación a la evaluación PBT final.

12.6. Otros efectos adversos: NP

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Eliminación: Disolver o mezclar el material con un disolvente combustible y quemarlo en un incinerador químico equipado con un sistema de depuración de humos. Reciclar el material siempre que sea posible.

Manipulación: Contenedores correctamente cerrados y etiquetados.

Disposiciones: Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir las disposiciones de la directiva 2008/98/CE relativa a gestión de residuos, u otras disposiciones autonómicas, nacionales o comunitarias en vigor.

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

- 14.1. Número ONU:** NP
- 14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:** NP
- 14.3. Número de identificación de peligro:** NP
- 14.4. Grupo de embalaje**
- ADR/RID:** NP
- IATA-DGR:** NP
- IMDG:** NP
- 14.5. Peligros para el medio ambiente**
- ADR/RID:** NP
- IATA-DGR:** NP
- IMDG:** NP
- 14.6. Transporte a granel con arreglo al anexo II del convenio Marpol 73/78 y del código IBC**
No tienen categoría asignada para código IBC.
- 14.7. Precauciones particulares para los usuarios**
Estable a temperatura ambiente durante el transporte. Para evitar los vertidos, transportar en tanques seguros correctamente sellados y etiquetados.

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

- 15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**
REGLAMENTO (UE) N o 453/2010: REQUISITOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD
Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA).
Reglamento (CE) no 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP).
Reglamento (CE) no 1907/2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH).
Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por Carretera (ADR).
Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID).
Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG).
Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.
Código internacional de sustancias químicas a granel (Código IBC), Convenio Marpol 73/78.

Reglamento Otros peligros

Este producto está listado en el inventario químico TSCA (EPA) y en el DSL (Lista de Sustancias Nacionales) canadiense.

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

15.2. Evaluación de la seguridad química

Se ha realizado una evaluación de la seguridad química.

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

Glosario

CAS: Servicio de Resúmenes Químicos.
IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.
ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
TLV: Valor Límite Umbral.
TWA: Media Ponderada en el tiempo.
STEL: Límite de Exposición de Corta Duración.
REL: Límite de Exposición Recomendada.
PEL: Límite de Exposición Permitido.
INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
VLA-ED: Valor Límite Ambiental – Exposición Diaria.
VLA-EC: Valor Límite Ambiental – Exposición Corta.
DNEL/DMEL: Nivel sin efecto derivado / Nivel derivado con efecto mínimo.
PNEC: Concentración prevista sin efecto.
DL50: Dosis Letal Media.
CL50: Concentración Letal Media.
CE50: Concentración Efectiva Media.
CI50: Concentración Inhibitoria Media.
BOD: Demanda Biológica de Oxígeno.
NOAEL: nivel sin efectos adversos observados
NOEL: nivel de efecto nulo
NOAEC: Concentración sin efecto adverso observado
NOEC: Concentración sin efecto observado
NP: No procede
| : Cambios respecto a la revisión anterior

Bases de datos consultadas

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Substances.
TSCA: Toxic Substances Control Act, US Environmental Protection Agency.
HSDB: US National Library of Medicine.
RTECS: US Dept. of Health & Human Services.

Texto completo de las Indicaciones de peligro que no están incluidas en el apartado 2

NP

Las empresas compradoras tienen la obligación de asegurar que sus empleados cuentan con la formación adecuada para manipular y utilizar el producto de forma segura, conforme a las indicaciones incluidas en esta nota informativa de seguridad del producto.

Asimismo, las empresas compradoras de este producto tienen la obligación de informar a sus empleados, y a las personas que pudieran manipularlo o utilizarlo en sus instalaciones, de todas las indicaciones incluidas en la ficha de datos de seguridad, especialmente, las referidas a los riesgos del producto para la seguridad y salud de las personas y para el medio ambiente.

NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

Ficha/Hoja informativa de Seguridad elaborada en cumplimiento del artículo 32 de la Reglamenta (EC) 1907/2006 (REACH), con el objeto de comunicar a los eslabones posteriores de la cadena de suministro información sobre las sustancias por sí solas o contenidas en mezclas que no requieren una ficha de datos de seguridad en formato SDS. Por tanto, el presente documento no constituye una Ficha de Datos de Seguridad (FDS/SDS) del artículo 31 del Reach, no siendo obligatorio a los efectos del REACH el acompañamiento de una FDS/SDS para la sustancia o mezcla objeto de la presente Ficha/Hoja informativa de Seguridad.

La información contenida en la presente Ficha/Hoja informativa de Seguridad ha sido elaborada por Repsol de acuerdo con la mejor información disponible con base en datos técnicos que considera fiables en el momento de su emisión. La información será utilizada por el destinatario por su cuenta y riesgo. En consecuencia, ningún aspecto de la presente se interpretará como una recomendación del uso o usos de cualquier sustancia o mezcla, ni por tanto ninguna recomendación de uso que pudiera estar en conflicto con patentes existentes que pudieran cubrir o proteger cualquier sustancia, mezcla o producto o su uso. El presente documento no constituye en ningún caso el otorgamiento de licencia alguna, con lo que no implica para el destinatario libertad de operación sobre cualquier patente titularidad de Repsol (el que emite la ficha) o de terceros.

Toda la información, y en su caso, afirmaciones o sugerencias contenidas en esta Ficha/Hoja informativa de Seguridad está exentas de garantía, expresa o implícita, sobre la exactitud de la información, y del riesgo relacionado con el uso de la misma incluida la comercialización, la idoneidad para un propósito en particular, así como para cualquier uso, o que el uso de dicha información no infrinja cualquier patente. Se excluyen expresamente todas las garantías implícitas de comercialización o idoneidad para cualquier propósito y en consecuencia Repsol no asume ningún tipo de responsabilidad por los resultados obtenidos o por cualquier tipo de daño (incluidos daños a la personas, bienes y medio ambiente) que pudiera derivarse, en todo o en parte, de la utilización que realice el destinatario de la información contenida en la misma.

METHANOL

Page 1(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

Trade name

METHANOL

Material number: 147295

REACH - Registration number 01-2119433307-44-0142, 01-2119433307-44-XXXX
according to article 20(3):

Chemical nature: methyl alcohol

CAS number : 67-56-1

EC number : 200-659-6

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Relevant identified uses of the substance or mixture

Industry sector : Functional Fluids

Type of use : Raw material

Exposure scenarios: see annex

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Identification of the company

Clariant Produkte (Deutschland) GmbH
65926 Frankfurt am Main
Telephone no. : +49 69 305 18000

Information about the substance/mixture

BU Oil & Mining Services
Product Stewardship
e-mail: SDS.Europe@clariant.com

1.4. Emergency telephone number

00800-5121 5121 (24 h)

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Flammable liquids, Category 2 H225: Highly flammable liquid and vapour.

Acute toxicity, Category 3 H301: Toxic if swallowed.

Acute toxicity, Category 3 H311: Toxic in contact with skin.

Specific target organ toxicity - single exposure, Category 1 H370: Causes damage to organs.

Acute toxicity, Category 3 H331: Toxic if inhaled.

METHANOL

Page 2(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

2.2 Label elements

Labelling (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Hazard pictograms :



Signal word : Danger

Hazard statements : H225 Highly flammable liquid and vapour.
H301 + H311 + H331 Toxic if swallowed, in contact with skin or if inhaled
H370 Causes damage to organs.

Precautionary statements : P210 Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. No smoking.
P260 Do not breathe dust/ fume/ gas/ mist/ vapours/ spray.
P280 Wear protective gloves/ protective clothing/ eye protection/ face protection.
P303 + P361 + P353 IF ON SKIN (or hair): Remove/ Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/ shower.
P311 Call a POISON CENTER /doctor.

Storage:

P405 Store locked up.

2.3 Other hazards

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

No additional hazards are known except those derived from the labelling.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1 Substances

Substance name : methyl alcohol

Index-No. : 603-001-00-X

EC-No. : 200-659-6

Hazardous components

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General advice : Remove/Take off immediately all contaminated clothing.

If inhaled : Remove to fresh air.

METHANOL

Page 3(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

If breathing has stopped, apply artificial respiration.
Seek medical advice.

In case of skin contact : In case of contact, immediately flush skin with soap and plenty of water.

In case of eye contact : In the case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.

If swallowed : When swallowed, allow water to be drunk.
Immediately give plenty of water (if possible charcoal slurry).
Get medical attention immediately.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Symptoms : When vapours inhaled, absorption through the skin or when swallowed depending on the amount of intake one has to reckon with the following symptoms: Headaches, Disturbance of vision, Intoxication, Unconsciousness.

Risks : No hazards known at this time.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Treatment : Treat symptomatically.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Alcohol-resistant foam
Dry powder
Carbon dioxide (CO₂)
Water spray jet

Unsuitable extinguishing media : High volume water jet

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Specific hazards during firefighting : In case of fires, hazardous combustion gases are formed:
Carbon monoxide (CO)
Carbon dioxide (CO₂)

5.3 Advice for firefighters

Special protective equipment for firefighters : Self-contained breathing apparatus

Further information : Cool endangered containers with water spray jet.

METHANOL

Page 4(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

SECTION 6: Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Personal precautions : Keep away sources of ignition.
Wear personal protective equipment. Unprotected persons must be kept away.
Pay attention to the spreading of gases especially at ground level (heavier than air) and to the direction of the wind.

6.2 Environmental precautions

Environmental precautions : Do not empty into drains.

If the product contaminates rivers and lakes or drains inform respective authorities.

Prevent spreading over a wide area (e.g. by containment or oil barriers).

6.3 Methods and material for containment and cleaning up

Methods for cleaning up : Soak up with inert absorbent material (e.g. sand, silica gel, acid binder, universal binder, sawdust).

Pump up larger quantities.

Flush away traces with water.

Containers in which spilt substance has been collected must be adequately labelled

6.4 Reference to other sections

Information regarding Safe handling, see chapter 7., For personal protection see section 8., For disposal considerations see section 13.

SECTION 7: Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

Advice on safe handling : Provide adequate ventilation.
Vapours are heavier than air and may spread along floors.

Use explosion-proof equipment.

Use only in area provided with appropriate exhaust ventilation.

Advice on protection against fire and explosion : Keep away sources of ignition.

Vapours may form explosive mixture with air.

Vapours may spread long distances and ignite.

METHANOL

Page 5(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

Risk of explosion if the liquid enters the drains.

Have fire-extinguishers in readiness before opening containers

Hygiene measures : Remove/Take off immediately all contaminated clothing.

Use protective skin cream before handling the product.

Do not eat, drink or smoke when using this product.

Fire-fighting class : B

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Requirements for storage areas and containers : Provide solvent-resistant and impermeable floor. Do not use aluminium containers. Do not use zinc containers. Do not store or transport in containers made of light metals or alloys. Store in a well-ventilated place.

Further information on storage conditions : Keep containers tightly closed in a cool, well-ventilated place. Handle and open container with care. - sensitive to frost - In case of the product becoming opaque, thickening or being frozen due to the effects of cold, allow to thaw slowly at room temperature. Stir briefly before use.

Advice on common storage : Keep away from oxidizing agents.

7.3 Specific end use(s)

Specific use(s) : No further recommendations.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

Occupational Exposure Limits

Components	CAS-No.	Value type (Form of exposure)	Control parameters	Basis
Methanol	67-56-1	TWA	200 ppm 260 mg/m ³	2006/15/EC
Further information	Identifies the possibility of significant uptake through the skin, Indicative			

Derived No Effect Level (DNEL) according to Regulation (EC) No. 1907/2006:

Substance name	End Use	Exposure routes	Potential health effects	Value
Methanol CAS-No.: 67-56-1	Workers	Dermal	Long-term systemic effects	40 mg/kg bw/day
Remarks:	DNEL			
	Workers	Dermal	Acute systemic effects	40 mg/kg bw/day

METHANOL

Page 6(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

Remarks:	DNEL			
	Workers	Inhalation	Long-term systemic effects	260 mg/m3
Remarks:	DNEL			
	Workers	Inhalation	Acute systemic effects	260 mg/m3
Remarks:	DNEL			
	Consumers	Oral	Long-term systemic effects	8 mg/kg bw/day
Remarks:	DNEL			
	Consumers	Oral	Acute systemic effects	8 mg/kg bw/day
Remarks:	DNEL			
	Consumers	Dermal	Long-term systemic effects	8 mg/kg bw/day
Remarks:	DNEL			
	Consumers	Dermal	Acute systemic effects	8 mg/kg bw/day
Remarks:	DNEL			
	Consumers	Inhalation	Long-term systemic effects	50 mg/m3
Remarks:	DNEL			
	Consumers	Inhalation	Acute systemic effects	50 mg/m3
Remarks:	DNEL			
	Workers	Inhalation	Acute local effects	260 mg/m3
Remarks:	DNEL			
	Workers	Inhalation	Long-term local effects	260 mg/m3
Remarks:	DNEL			
	Consumers	Inhalation	Acute local effects	50 mg/m3
Remarks:	DNEL			
	Consumers	Inhalation	Long-term local effects	50 mg/m3
Remarks:	DNEL			

Predicted No Effect Concentration (PNEC) according to Regulation (EC) No. 1907/2006:

Substance name	Environmental Compartment	Value
Methanol CAS-No.: 67-56-1	Fresh water	154 mg/l
	salt water	15,4 mg/l
	Water (intermittent release)	1540 mg/l
	Sewage treatment plant	100 mg/l
	Fresh water sediment	570,4 mg/kg
	Marine sediment	57,04 mg/kg
	Soil	23,5 mg/kg

8.2 Exposure controls

Personal protective equipment

Eye protection : Tightly fitting safety goggles

Hand protection

METHANOL

Page 7(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

- Break through time : 480 min
Glove thickness : 0,7 mm
Remarks : Long-term exposure Impervious butyl rubber gloves
- Break through time : 30 min
Glove thickness : 0,6 mm
Remarks : For short-term exposure (splash protection): Neoprene gloves
- Remarks : These types of protective gloves are offered by various manufacturers. Please note the manufacturers' detailed statements, especially about the minimum thickness and the minimum breakthrough time. Consider also the particular working conditions under which the gloves are being used.
- Skin and body protection : Flame retardant antistatic protective clothing.
- Respiratory protection : Use respiratory protection in case of insufficient exhaust ventilation or prolonged exposure
Full mask to standard DIN EN 136
Filter AX (low-boiling organic compounds), to standard DIN EN 371
The use of filter apparatus presupposes that the environment atmosphere contains at least 17% oxygen by volume, and does not exceed the maximum gas concentration, usually 0.5% by volume. Relevant guidelines to be considered include EN 136/141/143/371/372 as well as other national regulations.
- Protective measures : Do not inhale vapours
Avoid prolonged or repeated contact with skin.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

- Appearance : Liquid
- Colour : colourless
- Odour : alcohol-like
- Odour Threshold : not tested.
- pH : not tested.
- Melting point : -94 °C
- Boiling point : 65 °C
(1.013 hPa)
- Flash point : 10 °C
Method: DIN 51755 (closed cup)

METHANOL

Page 8(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

Evaporation rate	:	< 10 Method: DIN 53170
Upper explosion limit	:	44 %(V)
Lower explosion limit	:	5,5 %(V)
Combustion number :		Not applicable
Vapour pressure	:	128 mbar (20 °C) 200 mbar (30 °C) 535 mbar (50 °C)
Relative vapour density	:	1,11
Density	:	0,7961 g/cm ³ (15 °C) 0,7637 g/cm ³ (50 °C)
Bulk density	:	Not applicable
Solubility(ies)		
Water solubility	:	completely soluble (20 °C)
Solubility in other solvents	:	not tested. Solvent: fat
Partition coefficient: n-octanol/water	:	not tested.
Auto-ignition temperature	:	455 °C Method: DIN 51794
Decomposition temperature	:	At normal pressure may be distilled without decomposition.
Viscosity		
Viscosity, kinematic	:	not tested.
Explosive properties	:	no data available
Oxidizing properties	:	Not applicable

9.2 Other information

Minimum ignition energy	:	not tested.
Particle size	:	Not applicable

METHANOL

Page 9(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1 Reactivity

See section 10.3. "Possibility of hazardous reactions"

10.2 Chemical stability

Stable under normal conditions.

10.3 Possibility of hazardous reactions

Hazardous reactions : Reactions with strong oxidising agents.

The pressure in sealed containers can increase under the influence of heat.

Evolution of inflammable gases/vapours easily.

None known.

10.4 Conditions to avoid

Conditions to avoid : Keep away from open flames, hot surfaces and sources of ignition.

10.5 Incompatible materials

Materials to avoid : not known

10.6 Hazardous decomposition products

Formaldehyde

SECTION 11: Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity

Product:

Acute oral toxicity : LD50 (Rat): 5.628 mg/kg

Acute inhalation toxicity : LC50 (Rat): 85,1 mg/l
Exposure time: 4 h

Acute dermal toxicity : LD50 (Rabbit): 15.800 mg/kg

Skin corrosion/irritation

Product:

Remarks: not tested.

Serious eye damage/eye irritation

Product:

Remarks: not tested.

METHANOL

Page 10(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

Respiratory or skin sensitisation

Product:

Remarks: not tested.

Germ cell mutagenicity

Product:

Germ cell mutagenicity-
Assessment : No information available.

Carcinogenicity

Product:

Carcinogenicity -
Assessment : No information available.

Reproductive toxicity

Product:

Reproductive toxicity -
Assessment : No information available.

No information available.

STOT - single exposure

Product:

Remarks: not tested.

STOT - repeated exposure

Product:

Remarks: not tested.

Repeated dose toxicity

Product:

Remarks: not tested.

Aspiration toxicity

Product:

no data available

Further information

Product:

Remarks: Can be absorbed through skin.

METHANOL

Page 11(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

Remarks: Inhalation of vapours in high concentration can cause narcotic effects and metabolic acidosis.

Remarks: May cause blindness if swallowed.

Remarks: Toxic if swallowed.

Remarks: Causes disorders of the central nervous system and can cause headache, respiratory difficulties or unconsciousness.

SECTION 12: Ecological information

12.1 Toxicity

Product:

Toxicity to fish : LC50 (Leuciscus idus (Golden orfe)): > 100 mg/l

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates : Remarks: not tested.

Toxicity to algae : Remarks: not tested.

Toxicity to bacteria :
Remarks: not tested.

12.2 Persistence and degradability

Product:

Biodegradability : Biodegradation: 99 %
Method: OECD Test Guideline 301D

12.3 Bioaccumulative potential

Product:

Bioaccumulation : Remarks: not tested.

12.4 Mobility in soil

Product:

Distribution among environmental compartments : Remarks: not tested.

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

Product:

Assessment : This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher..

METHANOL

Page 12(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

12.6 Other adverse effects

Product:

Additional ecological information : The product should not be allowed to enter drains, water courses or the soil.

Harmful to aquatic organisms.

Prevent product from entering drains.

SECTION 13: Disposal considerations

13.1 Waste treatment methods

Product : Consider recycling.

In accordance with local authority regulations, take to special waste incineration plant

Contaminated packaging : Contaminated packaging should be emptied as far as possible and after appropriate cleansing may be taken for reuse

SECTION 14: Transport information

Section 14.1. to 14.5.

ADR

UN no.	UN 1230
Proper shipping name:	Methanol
Class:	3
Primary risk:	3
Secondary risk:	6.1
Packing group:	II
Hazard no. :	336
Remarks	Shipment permitted

ADN

UN no.	UN 1230
Proper shipping name:	Methanol
Class:	3
Primary risk:	3
Secondary risk:	6.1
Packing group:	II
Remarks	Shipment permitted

METHANOL

Page 13(39)

Substance key: SXR097936

Revision Date: 03.02.2016

Version : 6 - 1 / EU

Date of printing : 12.10.2017

RID

UN no.	UN 1230
Proper shipping name:	Methanol
Class:	3
Primary risk:	3
Secondary risk:	6.1
Packing group:	II
Hazard no. :	336
Remarks	Shipment permitted

IATA

UN no.	UN 1230
Proper shipping name:	Methanol
Class:	3
Primary risk:	3
Secondary risk:	6.1
Packing group:	II
Remarks	Shipment permitted

IMDG

UN no.	UN 1230
Proper shipping name:	Methanol
Class:	3
Primary risk:	3
Secondary risk:	6.1
Packing group:	II
Remarks	Shipment permitted
EmS :	F-E S-D

14.6. Special precautions for user

See sections 6 to 8 of this Safety Data Sheet.

14.7. Transport in bulk according to Annex II of MARPOL73/78 and the IBC Code (International Bulk Chemicals Code)

Name :	Methyl alcohol
Ship type :	3
Pollution category :	Y
Remarks :	Tank Type 2G, Special Requirements 15.19.6

SECTION 15: Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

	yes	Quantity 1 500 t	Quantity 2 5.000 t
--	-----	---------------------	-----------------------

Other regulations : European Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures.

15.2 Chemical safety assessment

A Chemical Safety Assessment has been carried out for this substance.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)

Tereftalato de dimetilo, escamas

Versión: 7.4 / ES
Fecha de revisión: 14.03.2016
Fecha de creación: 12.09.2001
reemplaza la versión: 7.3
Pagina: 1 / 14

Núm. de material
Especificación 116054
VA-Nr



SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1. Identificador del producto

Nombre comercial Tereftalato de dimetilo, escamas
Nombre químico DMT
No. CAS 120-61-6
N° de registro REACH: Si existe se especifica en el Cap. 3
No. CE 204-411-8

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados Materia prima para polímeros en la industria de lacas y plásticos

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía Oxxynova GmbH
Borsteler Weg 50
D-31595 Steyerberg
Teléfono +49 (0)6181 59-3086
Telefax +49 (0)6181 59-2083
Dirección del correo de electrónico info@oxsynova.com

1.4. Teléfono de emergencia

Información de Emergencia +49 (0)2365 49-2232 (Servicio de intérprete disponible)
Información de Emergencia +49 (0)2365 49-4423 (Telefax)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación conforme al reglamento (CE) No. 1272/2008 [CLP].

Conforme al Reglamento UE-CLP (1272/2008) no sujeto al marcado

2.2. Elementos de la etiqueta

2.3. Otros peligros

No se conocen peligros especiales.
Advertencia de riesgo para el hombre y para el medio ambiente
Evite que el material contamine el agua del subsuelo.
El polvo puede formar mezclas explosivas con el aire.
No está disponible una evaluación PBT / VPVB debido a que una evaluación de la seguridad química no es necesaria / no ha sido realizada.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1. Sustancias

Información sobre los componentes / Componentes peligrosos conforme al Reglamento EU-CLP (CE) N° 1272/2008

• tereftalato de dimetilo		Ø 99,9%			
No. CAS	120-61-6	No. CE	204-411-8	REACH N°	01-2119472299-26-0004

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)

Tereftalato de dimetilo, escamas

Versión:	7.4 / ES	Núm. de material	
Fecha de revisión:	14.03.2016	Especificación	116054
Fecha de creación:	12.09.2001	VA-Nr	
reemplaza la versión:	7.3		
Página:	2 / 14		



Observaciones Conforme al Reglamento (CE) n o 1272/2008 ninguna sustancia peligrosa.

Textos de las frases H, véase capítulo 16

3.2. Mezclas

-

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Tener en cuenta la protección personal.

Aléjese a los afectos del área de peligro. Quítese inmediatamente la ropa manchada o empapada y elimínela de modo seguro. Mantenga al afectado caliente, deje que respese tranquilo y tápele.

No déje a los afectados sin vigilancia

En caso de pérdida del conocimiento: tumbar de lado de manera estable.

Inhalación

Si se forman aerosoles, neblinas, polvos o humos, se puede producir una inhalación.

Trasládese a los afectado al aire fresco.

En caso de ahogo: administrar oxígeno. Consultar a un médico.

En caso de parada respiratoria: respiración artificial, avisar de inmediato a un médico de urgencia.

Contacto con la piel

Lavar de inmediato la zona afectada con mucha agua durante como mínimo 15 minutos.

Si las molestias perduran, acúdese inmediatamente al médico.

Contacto con los ojos

Con el párpado abierto, lavar de inmediato en profundidad con mucha agua durante como mínimo 10 minutos.

En caso de molestias persistentes: Presencia del oculista.

Ingestión

Enjuáguese la boca.

Dar a beber inmediatamente grandes cantidades de agua.

Consulte al médico.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Esta sustancia no tiene ningún potencial perjudicial para la salud digno de mención. Por lo tanto, no cabe esperar que se produzcan daños para la salud.

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción adecuados: Chorro de agua pulverizada, espuma, CO2, polvo extintor.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Ninguna medida especial.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

El agua de extinción no debe penetrar en el alcantarillado, suelo o agua. Proporcionar instalaciones de retención de agua de extinción de incendios adecuadas. El agua de extinción contaminada debe ser eliminada respetando las legislaciones locales.

Los residuos de incendio deben ser eliminados de acuerdo con las disposiciones.

Llevar aparato respiratorio autónomo

Llevar indumentaria de protección adecuada.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Debe llevarse equipo de protección personal; véase sección 8.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)

Tereftalato de dimetilo, escamas

Versión:	7.4 / ES	Núm. de material	
Fecha de revisión:	14.03.2016	Especificación	116054
Fecha de creación:	12.09.2001	VA-Nr	
reemplaza la versión:	7.3		
Página:	3 / 14		



- 6.2. Precauciones relativas al medio ambiente**
Evite que el producto penetre en el alcantarillado.
No echar al alcantarillado agua, el suelo o el agua.
- 6.3. Métodos y material de contención y de limpieza**
Utilícese equipo mecánico de manipulación.
- 6.4. Referencia a otras secciones**
Debe llevarse equipo de protección personal; véase sección 8.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

- 7.1. Precauciones para una manipulación segura**
Tener en cuenta las normas aplicadas normalmente al uso de productos químicos.
Debe llevarse equipo de protección personal; véase sección 8.
Evítese la formación de polvo.
Evitar restos de productos pegados a los contenedores.
- 7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**
Indicaciones para la protección contra incendio y explosión
Durante el proceso, el polvo puede formar una mezcla explosiva con el aire.
Evitar la acumulación de cargas electrostáticas, mantener alejadas las fuentes de ignición.
Almacenamiento
Proteger de la humedad.
Conservar el embalaje original herméticamente cerrado, en lugar fresco y seco.
Información adicional
Garantizar un transporte conforme respetando las alturas de apilado, la sujeción de los contenedores contra toda caída así como su identificación prescrita.
Clase de explosión del polvo
St2
Evítese la formación de polvo.
Durante la molturación es preciso inertizar.
Peligro de explosión de polvo.
- 7.3. Usos específicos finales**
No nos son conocidos usos finales específicos más allá de la información proporcionada en la sección 1.

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1. Parámetros de control

Valores DNEL/DMEL

Observaciones Para este producto no es necesaria/ no ha sido realizada ninguna evaluación de la seguridad química.

Valores PNEC.

Observaciones Para este producto no es necesaria/ no ha sido realizada ninguna evaluación de la seguridad química.

8.2. Controles de la exposición

Disposiciones de ingeniería

Procurar una adecuada aspiración/ventilación del lugar de trabajo o en las máquinas.
Prever la instalación de una ducha de emergencia y una ducha de ojos.

Protección personal

Protección respiratoria

En caso de formación de polvos/vapores/aerosoles o si supera los valores límite como el TLV: utilizar aparato respiratorio con filtro apropiado o llevar aparato respiratorio autónomo

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)

Tereftalato de dimetilo, escamas

Versión:	7.4 / ES	Núm. de material	
Fecha de revisión:	14.03.2016	Especificación	116054
Fecha de creación:	12.09.2001	VA-Nr	
reemplaza la versión:	7.3		
Página:	4 / 14		



Protección de las manos

Para manipulación prolongada o manipulación con grandes cantidades.

Material de guantes Nitrilo/Chloropreno, por ejemplo:, Nitopren 717, Kächele-Cama Latex GmbH (KCL), Alemania

Espesor del material 0,65 mm

tiempo de penetración > 480 min

Método DIN EN 374

Para manipulación por poco tiempo o de pequeñas cantidades.

Material de guantes Nitril, por ejemplo:, Dermatrill 740, Kächele-Cama Latex GmbH (KCL), Alemania

Espesor del material 0,11 mm

tiempo de penetración > 480 min

Método DIN EN 374

Protección de los ojos

Gafas de seguridad con protecciones laterales conformes con la EN166

Protección de la piel y del cuerpo

indumentaria de protección apropiada - Utilizar indumentaria desechable en caso necesario.

Medidas de higiene

No inhalar los vapores del producto caliente.

En caso de contacto con la piel, lavar inmediatamente (producto: polietilenoglicol 400), enjuagar en seguida con mucha agua.

Cuando se utiliza, no comer, beber, fumar ni aspirar durante el trabajo. Lavarse las manos y/o la cara antes de las pausas y al final del trabajo.

Cambiar la ropa y el calzado contaminados o empapados con el producto. Limpiarlos antes de reusarlos.

Medidas de protección

El equipo de protección personal utilizado debe estar en conformidad con las prescripciones de la directiva 89/686/CEE y las modificaciones aportadas (identificación CE).

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto	
Estado físico	escamas
Color	blanco
Olor	No hay datos disponibles
Límite olfático:	No hay datos disponibles
pH	No hay datos disponibles
Punto de solidificación	aprox. 141 °C
Temperatura de ebullición/rango	284 °C (1013 hPa)
Punto de ignición	151 °C
Método:	ASTM D 3278
Índice de evaporación	No hay datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	No hay datos disponibles
Límite de explosión, inferior	1,8 %(V)
	sustancia de ensayo: tereftalato de dimetilo
Límite de explosión, superior	No hay datos disponibles

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)**Tereftalato de dimetilo, escamas**

Versión:	7.4 / ES	Núm. de material	
Fecha de revisión:	14.03.2016	Especificación	116054
Fecha de creación:	12.09.2001	VA-Nr	
reemplaza la versión:	7.3		
Página:	5 / 14		



Presión de vapor	< 1,00 hPa (20 °C)
Densidad	1,35 g/cm ³ (20 °C) Método: DIN 51757
Densidad relativa	No hay datos disponibles
Hidrosolubilidad	0,031 g/l (20 °C) Método: OECD TG 105
Coefficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 2,4 (medido)
Autoinflamabilidad	No hay datos disponibles
Descomposición térmica	> 400 °C
Viscosidad, dinámica	no aplicable
Explosividad	No hay datos disponibles
Propiedades comburentes	debido a la estructura no se cuenta con este fenómeno

9.2. Otra información

Temperatura de ignición	520 °C Método: DIN 51 794
Densidad aparente	aprox. 500 kg/m ³
Otra información	Si se crea polvo, las mezclas de polvo/aire pueden ser explosivas.

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad**10.1. Reactividad**

No se dispone de otras informaciones

10.2. Estabilidad química

No se dispone de otras informaciones

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

Posibilidad de reacciones peligrosas. No se conocen reacciones peligrosas.

10.4. Condiciones que deben evitarse

No se dispone de otras informaciones

10.5. Materiales incompatibles

No se dispone de otras informaciones

10.6. Productos de descomposición peligrosos

No se dispone de otras informaciones

SECCIÓN 11. Información toxicológica**11.1. Información sobre los efectos toxicológicos**

Toxicidad agua por vía oral	DL50 rata(macho): > 6590 mg/kg Método: OECD TG 401 Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Toxicidad aguda por inhalación	CL50 Rata: > 6 mg/l / 2 h

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)**Tereftalato de dimetilo, escamas**

Versión: **7.4 / ES** Núm. de material
Fecha de revisión: **14.03.2016** Especificación **116054**
Fecha de creación: **12.09.2001** VA-Nr
reemplaza la versión: **7.3**
Pagina: **6 / 14**



	Sustancia test:	tereftalato de dimetilo
Toxicidad dérmica aguda	DL50 Conejillo de indias: > 5000 mg/kg Método: OECD TG 402 Sustancia test: tereftalato de dimetilo	
Irritación de la piel	Conejo no irritante Método: OECD TG 404 Sustancia test: tereftalato de dimetilo	
Irritación ocular	Conejo no irritante Método: US-EPA-método Sustancia test: tereftalato de dimetilo	
Sensibilización	Conejillo de indias: no sensibiliza la piel Sustancia test: tereftalato de dimetilo	
Toxicidad con dosis repetidas	Oral Rata(macho) Duración del ensayo: 96 d NOAEL: 5000 mg/l Sustancia test: tereftalato de dimetilo ningún efecto negativo inhalativo Rata(macho) Duración del ensayo: 90 d NOAEL: 86,4 mg/l Organo objetivo/acción: Débil efecto irritante sobre: Ojos, nariz Método: OECD TG 413 Sustancia test: tereftalato de dimetilo Oral Rata Nombre de exposiciones: continuamente Duración del ensayo: 91 d LOAEL: 0,05 mg/kg Método: bibliografía Oral Rata Nombre de exposiciones: continuamente Duración del ensayo: 91 d NOAEL: 40 mg/l Método: bibliografía No se han observado casos de muerte. Oral Rata(macho) Nombre de exposiciones: continuamente Duración del ensayo: 168 d NOAEL: 0,05 mg/kg LOAEL: 0,1 mg/kg Método: bibliografía	
Evaluación STOT- Exposición única	No hay datos disponibles	
Evaluación STOT- Exposición repetida	No hay datos disponibles	
Peligro de toxicidad por aspiración	No hay datos disponibles	
Toxicidad genética in vitro	Prueba de Ames Salmonella typhimurium	

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)**Tereftalato de dimetilo, escamas**

Versión: **7.4 / ES** Núm. de material
Fecha de revisión: **14.03.2016** Especificación **116054**
Fecha de creación: **12.09.2001** VA-Nr
reemplaza la versión: **7.3**
Pagina: **7 / 14**



negativo
Activación metabólica: **en o sin**
Método: **método análogo OCDE**
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**

Test micronuclear Linfócitos humanos
negativo
Método: **bibliografía**
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**

Mutación en los genes de las células de los mamíferos TK +/- Células de linfoma de la rata (L5178Y)
negativo
Método: **bibliografía**
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**

Toxicidad genética en vivo **Test micronuclear Ratón intraperitoneal (i.p.)**
negativo
Método: **OECD TG 474**
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**
No se han observado casos de muerte.

Carcinogenicidad **Oral Rata: 721 días**
Periodo posterior de observación: **14 días**
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**
ningún indicio de efecto cancerígeno, bibliografía.

Oral Ratón(machos)
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**
Ningún indicio de efecto cancerígeno.

Toxicidad para la reproducción **Oral Rata(macho/hembra)**
Nombre de exposiciones: **115 días**
NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) padres: **10000 mg/l**
NOAEL F1: **2500 mg/l**
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**
ningún efecto negativo

Teratogenicidad **Oral Rata(hembra)**
Duración del ensayo: **21 días**
NOEL (No Observed Effect Level) maternal: **1000 mg/kg**
Método: **OECD TG 414**
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**
ningún indicio de propiedades teratógenas

SECCIÓN 12. Información ecológica**12.1. Toxicidad**

Toxicidad para los peces **CL50 Ensayo semiestático Brachydanio rerio: 13 mg/l / 96 h**
Controlo analítico: **si**
Sustancia test: **tereftalato de dimetilo**
Método: **OECD TG 203**

NOEC Ensayo semiestático Brachydanio rerio: 9,6 mg/l / 96 h
Controlo analítico: **si**

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)

Tereftalato de dimetilo, escamas

Versión: **7.4 / ES** Núm. de material
Fecha de revisión: **14.03.2016** Especificación **116054**
Fecha de creación: **12.09.2001** VA-Nr
reemplaza la versión: **7.3**
Pagina: **8 / 14**



Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Método: OECD TG 203

Toxicidad para los invertebrados acuáticos
CE50 Ensayo estático Daphnia magna: > 23,5 mg/l / 48 h
Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Método: OECD TG 202

NOEC Ensayo estático Daphnia magna: 10,8 mg/l / 48 h
Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Método: OECD TG 202

NOEC Ensayo semiestático Daphnia magna: 1,72 mg/l / 21 d
Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Método: OECD TG 211

CE50 Ensayo semiestático Daphnia magna: > 6,01 mg/l / 21 d
Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Método: OECD TG 211

Toxicidad para las algas
CE50 Ensayo estático Desmodesmus subspicatus: > 29 mg/l / 72 h
Punto terminal: tipo de crecimiento
Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Método: OECD TG 201

Toxicidad para las bacterias
EC 10 lodo activado comunal: 1000 mg/l / 3 h
Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Método: OECD TG 209

12.2. Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad **aeróbico**
inóculo: Lodo activado
Concentración: 55 mg/l
Tiempo de exposición: 28 d
Resultado: 94 % Fácilmente biodegradable.
Sustancia test: tereftalato de dimetilo
Método: (O₂; test BODIS)

12.3. Potencial de bioacumulación

Bioacumulación No hay datos disponibles

12.4. Movilidad en el suelo

Movilidad
logKOC: 109,3
Método: contado

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB

No está disponible una evaluación PBT / VPVB debido a que una evaluación de la seguridad química no es necesaria / no ha sido realizada.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (EC 1907/2006)

Tereftalato de dimetilo, escamas

Versión:	7.4 / ES	Núm. de material	
Fecha de revisión:	14.03.2016	Especificación	116054
Fecha de creación:	12.09.2001	VA-Nr	
reemplaza la versión:	7.3		
Página:	9 / 14		



12.6. Otros efectos adversos

Información adicional No se dispone de otras informaciones

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Envases no purificados

Teniendo en cuenta las reglamentaciones locales, por ej.:
eliminar en una planta de incineración de residuos adecuada.

Número de identificación del residuo

El número del código de desperdicios se fija en conformidad con el índice de desperdicios europeo (decisión de la UE sobre el índice de desperdicios 2000/532/CE) según acuerdo con los eliminadores / fabricantes / la Autoridad.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.

- | | |
|---|----|
| 14.1. Número ONU: | -- |
| 14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas: | -- |
| 14.3. Clase(s) de peligro para el transporte: | -- |
| 14.4. Grupo de embalaje: | -- |
| 14.5. Peligros para el medio ambiente: | -- |
| 14.6. Precauciones particulares para los usuarios: | No |

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Legislación nacional

restricción de empleo Tenga en cuenta la directiva 94/85/CEE (Directriz sobre la Protección de los Trabajadores Jóvenes) así como sus enmiendas

homologación

Europa (REACH)	Y
USA (TSCA)	Y
Canadá (DSL)	Y
Australia (AICS)	Y
Japón (MITI)	Y
Corea (TCCL)	Y
Filipinas (PICCS)	Y
China	Y

15.2. Evaluación de la seguridad química

Evaluación de la seguridad química Para este producto no es necesaria/ no ha sido realizada ninguna evaluación de la seguridad química.

ANEXO 2
HIDRODINÁMICA DE LA
COLUMNA D-515

B Hidrodinámica de la columna D-515

Para el cálculo de la hidrodinámica de la columna (que tiene como objetivo principal poder dimensionar la columna y calcular su diámetro correspondiente), es necesario determinar una serie de parámetros iniciales. Como la columna D-515 opera en un *batch*, se han escogido los valores en los cuales están los caudales más altos del balance de materia, puesto que el diseño debe asegurar que la columna es capaz de operar bajo estas condiciones más extremas.

Tabla B.1. Parámetros iniciales de cálculo (hidrodinámica).

Parámetro	Símbolo	Fase Vapor	Fase Líquido
Máximo caudal (kg/h)	V_{xxx} o L_{xxx} ⁵⁰	2194.8	2316.0
Composición (%) MPG/MeOH/H ₂ O	x_i	0.50/95.5/4.00	0.00/99.7/0.30
Temperatura (°C)	T	70.94	58.74
Densidad (g/cm ³)	ρ_l o ρ_v	$0.8845 \cdot 10^{-3}$	0.7518
Peso molecular promedio (g/mol)	MW	31.162	31.967
Tensión superficial (dina/cm)		-	20
Viscosidad dinámica (cP)	μ	0.0112	0.3800

Primero, antes de poder calcular el diámetro del plato mediante el método de Brown-Souder, es necesario calcular los parámetros relacionados con la tensión superficial.

$$B_{20} = -271.1 + 42.10T_s - 1.254T_s^2 + 0.0129T_s^3 \quad (\text{B.1})$$

$$B_\sigma = B_{20} \cdot (\sigma/20)^{0.2} \quad (\text{B.2})$$

(En este caso, que la tensión superficial equivale a 20 dinas/cm, B.2. puede obviarse)

$$G' = B_\sigma \cdot \sqrt{\rho_g \cdot (\rho_l - \rho_g)} \quad (\text{B.3})$$

$$A = \frac{V_{CFS}}{G'} \quad (\text{B.4})$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (\text{B.5})$$

$$L_{GPM} = \frac{V_{LHG}}{\rho_L} \quad (\text{B.6})$$

Dónde:

B₂₀: Constante de Brown-Souder para una tensión superficial de 20 dinas/cm.

T_s: Separación entre platos. Se fijan 18 pulgadas como valor habitual.

B_σ: Constante de Brown-Souder corregida.

G': Caudal másico de vapor por unidad de área [$\text{lb} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ft}^{-2}$].

A: Área transversal de plato total [ft^2]

D: Diámetro de plato.

L_{GPM}: Caudal de líquido [gpm].

⁵⁰ Hace referencia a que se utilizará L para referirse a los caudales líquidos y V para los de vapor. Las 3 iniciales incluidas en el subíndice (las x) son las unidades del caudal en cuestión.

A continuación, es necesario escoger el número de pasos utilizando la Tabla V(art.). Con estos datos se procede a calcular el área activa necesaria (A_A) para cumplir el requisito de inundación. Se ha fijado como factor de inundación (F_f) el valor de 0.7, que es un valor habitual promedio. En esta fase del proceso es necesario realizar el cálculo de manera iterativa con las ecuaciones expuestas a continuación. Cabe destacar, que en el caso del factor de capacidad (CAF_0), debe escogerse el valor más pequeño obtenidos entre las ecuaciones B.10 y B.11.

$$V_{LOAD} = V_{CFS} \cdot \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g}} \quad (B.7)$$

$$F_{IV} = \frac{L_{GPM}}{448.8 \cdot V_{CFS}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_g}} \quad (B.8)$$

$$S_f = (\sigma/20)^{0.2} \quad (B.9)$$

$$C_{AF0} = 0.425 \cdot (0.1092 - 0.058 \cdot \ln(F_{IV})) \cdot e^{0.0479 \cdot T_s} \quad (B.10)$$

$$C_{AF0} = 0.118 \cdot e^{0.0479 \cdot T_s} \quad (B.11)$$

$$A_A = \frac{V_{LOAD}}{C_{AF0} \cdot S_f \cdot F_f} \quad (B.12)$$

V_{LOAD}: Factor de carga del vapor [ft³/s]

F_{IV}: Parámetro de flujo.

S_f: Factor de espuma [-].

F_f: Factor de inundación [-].

El área activa que se obtiene en esta primera iteración es el valor con el que se comparará para realizar el siguiente paso. A continuación se calcula el área del *downcomer*; pero para ello es necesario antes determinar la velocidad (V_d) del *downcomer*: debe escogerse el valor más bajo obtenido entre las ecuaciones B.13, B.14 y B.15 como criterio conservador.

$$V_d = 250 \cdot S_f \quad (B.13)$$

$$V_d = 41 \cdot \sqrt{(\rho_l - \rho_g)} \cdot S_f \quad (B.14)$$

$$V_d = 7.5 \cdot \sqrt{T_s \cdot (\rho_l - \rho_g)} \cdot S_f \quad (B.15)$$

$$A'_D = \frac{L_{GPM}}{V_d \cdot F_f} \quad (B.16)$$

V_d: velocidad del *downcomer* [gpm/ft²].

A'_D: Área de *downcomer* definida por B.16. [ft²].

Una vez determinada A'_D, se debe escoger el valor más grande de entre dos opciones y A'_D:

$$A_D = \text{Max}\{\text{Min}(0.11 \cdot A_A; 2 \cdot A'_D); A'_D\} \quad (B.17)$$

A_D: Área de *downcomer* (real) [ft²].

... Y finalmente se procede a realizar el cálculo iterativo completo. Como en el cálculo del área activa (A_A), debe escogerse el factor de capacidad más bajo de entre las ecuaciones posibles.

$$A = A_A + 2 \cdot A_D \quad (B.18)$$

$$D = \sqrt{4A/\pi} \quad (B.19)$$

$$F_{PL} = D - 2 \cdot H \tag{B.20}$$

$$C_{AF0} = 0.595 - 0.0596 \cdot \rho_g \tag{B.21}$$

$$C_{AF0} = \frac{T_s^{0.65} \cdot \rho_g^{0.167}}{12} \tag{B.22}$$

$$C_{AF0} = 0.3174 + 0.04122(T_s - 12)^{0.483} - 10^{-6} \cdot \rho_g \cdot (245 + 661 \cdot T_s) \tag{B.23}$$

$$A_A = \frac{(F_{PL}/1083) \cdot L_{GPM} + V_{LOAD}}{C_{AF0} \cdot S_F \cdot F_f} \tag{B.24}$$

El valor que finalmente se obtiene después de todo el proceso iterativo es un diámetro D equivalente a 1.2 ft o 0.37 metros. Con esto, se calcula el cociente A_D/A (B.25) y es posible determinar la longitud (l_w) y anchura (H) del rebosadero, utilizando la tabla de la Figura B.1.

$$A_D/A = 0.045 \tag{B.25}$$

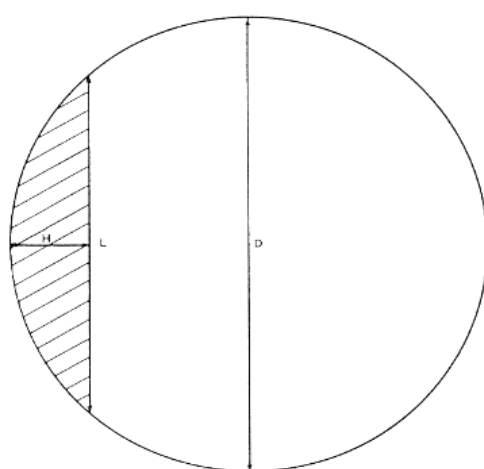


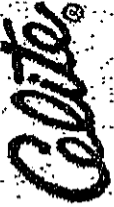

TABLE 4
SEGMENTAL FUNCTIONS

D = TOWER DIAMETER
H = CHORD HEIGHT
L = CHORD LENGTH
A_D = CHORD AREA
A_T = TOWER AREA

H/D FROM .0 TO .1			H/D FROM .1 TO .2			H/D FROM .2 TO .3			H/D FROM .3 TO .4			H/D FROM .4 TO .5		
H/D	L/D	A _D /A _T	H/D	L/D	A _D /A _T	H/D	L/D	A _D /A _T	H/D	L/D	A _D /A _T	H/D	L/D	A _D /A _T
.0000	.0000	.0000	.0200	.2800	.0048	.0400	.3919	.0134	.0600	.4750	.0245	.0800	.5426	.0375
.0005	.0447	.0000	.0205	.2834	.0050	.0405	.3943	.0137	.0605	.4768	.0248	.0805	.5441	.0378
.0010	.0632	.0001	.0210	.2868	.0051	.0410	.3966	.0139	.0610	.4787	.0251	.0810	.5457	.0382
.0015	.0774	.0001	.0215	.2901	.0053	.0415	.3989	.0142	.0615	.4805	.0254	.0815	.5472	.0385
.0020	.0894	.0002	.0220	.2934	.0055	.0420	.4012	.0144	.0620	.4823	.0257	.0820	.5487	.0389
.0025	.0999	.0002	.0225	.2966	.0057	.0425	.4035	.0147	.0625	.4841	.0260	.0825	.5502	.0392
.0030	.1094	.0003	.0230	.2998	.0059	.0430	.4057	.0149	.0630	.4859	.0263	.0830	.5518	.0396
.0035	.1181	.0004	.0235	.3030	.0061	.0435	.4080	.0152	.0635	.4877	.0266	.0835	.5533	.0399
.0040	.1262	.0004	.0240	.3061	.0063	.0440	.4102	.0155	.0640	.4895	.0270	.0840	.5548	.0403
.0045	.1339	.0005	.0245	.3092	.0065	.0445	.4124	.0157	.0645	.4913	.0273	.0845	.5563	.0406
.0050	.1411	.0006	.0250	.3122	.0067	.0450	.4146	.0160	.0650	.4931	.0276	.0850	.5578	.0410
.0055	.1479	.0007	.0255	.3153	.0069	.0455	.4168	.0162	.0655	.4948	.0279	.0855	.5592	.0413
.0060	.1545	.0008	.0260	.3183	.0071	.0460	.4190	.0165	.0660	.4966	.0282	.0860	.5607	.0417
.0065	.1607	.0009	.0265	.3212	.0073	.0465	.4211	.0168	.0665	.4983	.0285	.0865	.5622	.0421
.0070	.1667	.0010	.0270	.3242	.0075	.0470	.4233	.0171	.0670	.5000	.0288	.0870	.5637	.0424
.0075	.1726	.0011	.0275	.3271	.0077	.0475	.4254	.0173	.0675	.5018	.0292	.0875	.5651	.0428
.0080	.1782	.0012	.0280	.3299	.0079	.0480	.4275	.0176	.0680	.5035	.0295	.0880	.5666	.0431
.0085	.1836	.0013	.0285	.3328	.0081	.0485	.4296	.0179	.0685	.5052	.0298	.0885	.5680	.0435
.0090	.1889	.0014	.0290	.3356	.0083	.0490	.4317	.0181	.0690	.5069	.0301	.0890	.5695	.0439
.0095	.1940	.0016	.0295	.3384	.0085	.0495	.4338	.0184	.0695	.5086	.0304	.0895	.5709	.0442
.0100	.1990	.0017	.0300	.3412	.0087	.0500	.4359	.0187	.0700	.5103	.0308	.0900	.5724	.0446
.0105	.2039	.0018	.0305	.3439	.0090	.0505	.4379	.0190	.0705	.5120	.0311	.0905	.5738	.0449
.0110	.2086	.0020	.0310	.3466	.0092	.0510	.4400	.0193	.0710	.5136	.0314	.0910	.5752	.0453
.0115	.2132	.0021	.0315	.3493	.0094	.0515	.4420	.0195	.0715	.5153	.0318	.0915	.5766	.0457
.0120	.2178	.0022	.0320	.3520	.0096	.0520	.4441	.0198	.0720	.5170	.0321	.0920	.5781	.0460
.0125	.2222	.0024	.0325	.3546	.0098	.0525	.4461	.0201	.0725	.5186	.0324	.0925	.5795	.0464
.0130	.2265	.0025	.0330	.3573	.0101	.0530	.4481	.0204	.0730	.5203	.0327	.0930	.5809	.0468
.0135	.2308	.0027	.0335	.3599	.0103	.0535	.4501	.0207	.0735	.5219	.0331	.0935	.5823	.0472
.0140	.2350	.0028	.0340	.3625	.0105	.0540	.4520	.0210	.0740	.5235	.0334	.0940	.5837	.0475
.0145	.2391	.0030	.0345	.3650	.0108	.0545	.4540	.0212	.0745	.5252	.0337	.0945	.5850	.0479
.0150	.2431	.0031	.0350	.3676	.0110	.0550	.4560	.0215	.0750	.5268	.0341	.0950	.5864	.0483
.0155	.2471	.0033	.0355	.3701	.0112	.0555	.4579	.0218	.0755	.5284	.0344	.0955	.5878	.0486
.0160	.2510	.0034	.0360	.3726	.0115	.0560	.4598	.0221	.0760	.5300	.0347	.0960	.5892	.0490
.0165	.2548	.0036	.0365	.3751	.0117	.0565	.4618	.0224	.0765	.5316	.0351	.0965	.5906	.0494
.0170	.2585	.0037	.0370	.3775	.0119	.0570	.4637	.0227	.0770	.5332	.0354	.0970	.5919	.0498
.0175	.2622	.0039	.0375	.3800	.0122	.0575	.4656	.0230	.0775	.5348	.0358	.0975	.5933	.0501
.0180	.2659	.0041	.0380	.3824	.0124	.0580	.4675	.0233	.0780	.5363	.0361	.0980	.5946	.0505
.0185	.2695	.0042	.0385	.3848	.0127	.0585	.4694	.0236	.0785	.5379	.0364	.0985	.5960	.0509
.0190	.2730	.0044	.0390	.3872	.0129	.0590	.4712	.0239	.0790	.5395	.0368	.0990	.5973	.0513
.0195	.2765	.0046	.0395	.3896	.0132	.0595	.4731	.0242	.0795	.5410	.0371	.0995	.5987	.0517

Figura B.1. Tabla geométrica para determinar altura y anchura de rebosadero.

ANEXO 3
ESPECIFICACIONES
CELLITE® Y FIBERGLASS®

 	ALICANTE, Spain	Issued by : Celite France 257 Avenue Georges Clémenceau 92745 Nanterre Cedex - France Telephone: +33 1 41 91 97 00 Téléfax: +33 1 41 91 97 92
---	------------------------	---

TECHNICAL DATA

Celite® 545

144837

FLUX CALCINED DIATOMACEOUS EARTH FILTER AID

[With medium permeability, for rapid filtration in aqueous streams, this product is also suited for highly viscous liquids such as casein, pectin, adhesives, greases, sizings, waxes and tars, syrups and synthetic resins]

TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES

Colour	White
Loose Weight (g/l)	300
Wet Density (by centrifugation) (g/l)	355
Density BBC (g/l)	400
Permeability BBC (Da)	4.5
Surface Area (B.E.T.) m ² /g	0.8
pH (10% slurry)	10.5
Resistivity (kilohms)	6
Blue Light Reflectance	90

Typical Particle Size

Retained on 30 Mesh, 600 µm (% by weight)	0.8
Retained on 150 Mesh, 105 µm (% by weight)	21.8
Diameter at which 10% is less (by Microtrac) µm	20.8
Diameter at which 50% is less (by Microtrac) µm	46.8
Diameter at which 90% is less (by Microtrac) µm	120.8

TYPICAL CHEMICAL PROPERTIES (% by weight)

Acid Solubles	7.5
Loss on ignition	0.1
SiO ₂	89.4
Al ₂ O ₃	1.0
Fe ₂ O ₃	0.4
CaO	6.8
MgO	0.4
Na ₂ O	1.8
K ₂ O	0.1

Typical values are not to be used as specifications

The physical or chemical properties of Celite products represent typical average values obtained in accordance with generally accepted test methods and are subject to normal manufacturing variations. They are supplied as a technical service and are subject to change without notice. Technical data shown above are considered accurate and reliable, however, no guarantee is given nor intended. For important health & safety information, please refer to MSDS, A World Minerals Company.

Celite®**CELITE FRANCE**

257 avenue Georges Clémenceau - 92745 Nanterre Cedex - France
 Téléphone : +33 1 41 91 57 13 Tél/fax : +33 1 41 91 57 32
 e-mail: cooten@worldminerals.com



144337

SPECIFICATION Page 1 of 1

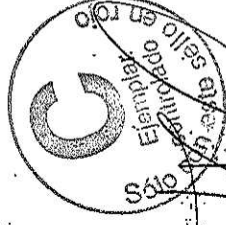
Revision N°: 2

Source : Alicante

Product Name : Celite 545

PRODUCT DESIGNATION : flux-calcined diatomaceous earth filter aid

Test	Reference N°	Units	Minimum	Maximum
Permeability	WME 01	darcy	3.0	8.3
Wet Density	WME 02	g/litre	-	436
Wet Sieve Analysis, 105µ	WME 03	% residue by wt.	-	28
Wet Sieve Analysis, 600µ	WME 03	% residue by wt.	-	3.5



E. Oline

Signed - for Celite:

N. Coote General Manager Technical Services
 Date : 24 March 2004

30/01/2007

For important health and safety information, please see the Material Safety Data Sheet for this product.

Ficha técnica Fiberglass – Line Pipes incluyendo la conexión

Nombre del producto	Star® Line/Pipes
Fabricante	Fiber Glass Systems LP
Proveedor	GWE pumpenboese GmbH
Certificación / Sistema de Calidad	ISO 9001, API Q 1, API 15LR, API 15 HR
Supervisor externo	Control de calidad por el TÜV Bayern
Dimensiones	1 ½" – 8" (DN 25 – DN 200 mm)
Resistencia a la presión	Máx. 4000 PSI (270 bar)
Resistencia al calor	Máx. 200° F (93,3° C)
Largo	30 Ft (± 9,0 metros)
Sistema de vidrio	E - Glas
Sistema de resina	Resina epoxy
Sistema de curado	<ul style="list-style-type: none"> • Aminas aromáticas • Aminas alifáticas • Anhídridos
Certificados de tubería	<ul style="list-style-type: none"> • Certificado 3.1B – según Norma EN 10204, análisis después de cada 1.500 metros de tubería producida 100% de la tubería y accesorios según Norma API 15 HR • Vidrio / Resina epoxy / Endurecedor • Sistema de enrollado en ángulo 54.75°
Tipo de rosca	API-EUE-10 RD (1- ½") 8RD para todas las demás dimensiones según la Norma API-5B
Fabricación	Advanced Composite Thread (ACT), adaptada mediante molde o Precision Ground Thread (PGT)

Características del material	Unidad	Rango
Módulo-E – Axial	N/mm ²	10.30-13.800
Módulo-E – Radial	N/mm ²	17.900-29.700
Número Poisson		0,38-0,39
Coefficiente de expansión térmica	mm/mm°C (x10-5)	1,6-2,30
Conductividad térmica	W/m/°C	0,35-0,40
Peso específico	kg/dm ³	1,8-1,99
Densidad del material	g/m ³	1,8-1,98
Factor Hazen – Williams		150-160
Grado de aspereza	mm	0,0053

Características de la tubería	Unidad	Rango
Resistencia a la presión interior	bar	35-275
Resistencia a la compresión	bar	16-40
Resistencia a la temperatura	°C	65-99
Resistencia a la tracción	kg	445-26.944
Vida útil (según API 15HR)	Años	20