



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Química**

**OBTENCIÓN DE TANINOS A PARTIR DE LA  
PEPITA DE UVA**

**Autor:**

**Paniagua Páez, Álvaro**

**Tutoras:**

**García Cubero, María Teresa  
Lucas Yagüe, Susana  
Dpto. de Ingeniería Química y TMA**

**Valladolid, Julio de 2015**





# 1. ÍNDICE



<b>1. ÍNDICE</b>	<b>1</b>
<b>2. RESUMEN</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
<b>4. INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
4.1. Definición de taninos y sus características	15
4.2. Tipos de taninos	16
4.3. Aplicaciones de los taninos	18
4.4. Estado del arte	20
4.5. Justificación de este Trabajo de Fin de Grado	24
<b>5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS</b>	<b>27</b>
5.1. Selección de la materia prima	29
5.2. Selección de tecnologías	30
<b>6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DIAGRAMA DE BLOQUES</b>	<b>47</b>
<b>7. BALANCES DE MATERIA Y DIAGRAMA DE FLUJO</b>	<b>51</b>
7.1. Datos básicos del balance de materia	53
7.2. Cálculo de la densidad de la pomada	54
7.3. Cálculo de la densidad de la mezcla pomada-disolvente	55
7.4. Datos de las cargas y balance de materia	55
7.5 Diagrama de flujo y descripción detallada.	57
<b>8. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL Y DESCRIPCIÓN DEL CONTROL</b>	<b>59</b>
8.1 Diagrama de instrumentación y control (P&ID)	61
8.2. Descripción de los lazos principales de control.	61



<b>9. DIMENSIONADO DE EQUIPOS</b>	<b>65</b>
9.1. Extractor discontinuo de tanque agitado (TA-101)	67
9.2. Cálculo del intercambiador de calor (enfriador previo al módulo de membranas (IC-101)	77
9.3. Cálculo del módulo de membranas de ultrafiltración (UF-101)	88
<b>10. ESTUDIO ECONÓMICO</b>	<b>93</b>
10.1. Coste total de la planta	95
10.2. Estudio de viabilidad económica	98
10.3. Análisis de sensibilidad	101
<b>11. IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>103</b>
11.1. Valoración del impacto medioambiental de la planta	105
11.2. Gestión de los residuos restantes del proceso	106
<b>12. ESTUDIO DE SEGURIDAD</b>	<b>107</b>
12.1. Riesgos generales y medidas preventivas	109
12.2. Análisis HAZOP al extractor discontinuo de tanque agitado (TA-101)	109
<b>13. CONCLUSIONES</b>	<b>121</b>
<b>14. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>125</b>
<b>15. ANEXOS</b>	<b>131</b>
ANEXO I. DIAGRAMAS	133
ANEXO II. TABLAS Y GRÁFICOS	139
ANEXO III. SEGURIDAD	145



# 2. RESUMEN





## 2. RESUMEN

En este trabajo se ha diseñado una planta piloto para la extracción de taninos a partir de pomada de uva (pepitas de uva, hollejos y tallos), con una capacidad de tratamiento de 18 kg/día de pomada, para obtener 6.7 kg/día de concentrado tánico del 14% en peso. La instalación consta de un extractor discontinuo de tanque agitado (50 L), una centrifuga de tazón tubular para separar el sólido agotado del extracto y una etapa final de concentración del licor tánico mediante membranas de ultrafiltración. El estudio se completa con un análisis de costes, un estudio del impacto medioambiental y aspectos básicos de seguridad de la planta.

Palabras clave: Taninos, pepita de uva, extracción, ultrafiltración.

This work provides the design of a pilot plant for the extraction of tannins from grape pomace (grape seeds, skins and stalks). The treatment capacity is 18 kg/day of grape pomace, in order to obtain 6.7 kg/day of concentrated tannic solution. The plant consists of a discontinuous stirred tank extractor (50 L), a tubular bowl centrifuge to separate the solid from the extract and a final step of concentration process by means of ultrafiltration membranes. The study is completed with a cost analysis, an environmental impact study and basic safety aspects of the plant.

Key words: Tannins, grape seeds, extraction, ultrafiltration.





# 3. OBJETIVOS





### 3. OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es diseñar una planta piloto para la extracción selectiva de compuestos tánicos (taninos) a partir de pomada de uva (pepita de uva, hollejos y tallos). La capacidad de tratamiento de la instalación será de 18 kg/día de pomada de uva, obteniéndose 6.7 kg/día de licor tánico concentrado del 14% en peso.

Los objetivos parciales del proyecto se enumeran a continuación:

1. Analizar las tecnologías disponibles para la extracción sólido-líquido, el sistema de agitación, la separación sólido líquido y la concentración del licor tánico y seleccionar los equipos más apropiados para el proceso en función de sus ventajas técnico/económicas.
2. Dimensionar y diseñar una planta piloto para la extracción de taninos a partir de pepita de uva. Para ello, se plantearán los correspondientes balances de materia, se hará un dimensionado básico de los equipos principales y un diseño mecánico del extractor. También se elaboran los diagramas de flujo y de instrumentación y control de la planta.
3. Realizar una evaluación económica simplificada del coste total de la planta, así como estimar el precio de venta de los productos (licor tánico concentrado y pomada de uva agotada) en el mercado para hacer rentable la instalación.
4. Valorar el impacto ambiental del proceso, describiendo el uso o tratamiento que reciben los residuos y subproductos resultantes.
5. Hacer un estudio de seguridad básico, realizando un análisis HAZOP a la etapa de extracción (etapa principal del proceso).





# 4. INTRODUCCIÓN





#### 4.1. Definición de taninos y sus características [1]

El término tanino fue originalmente utilizado para describir ciertas sustancias orgánicas que servían para convertir a las pieles crudas de animales en cuero, proceso conocido en inglés como *tanning* ("curtido" en español). Los taninos tienen un ligero olor característico, sabor amargo y astringente, y su color va desde el amarillo hasta el castaño oscuro.

Químicamente son metabolitos secundarios de las plantas, de tipo fenólico, no nitrogenados, solubles en agua y no en alcohol ni solventes orgánicos.

Pueden encontrarse en todos los órganos o partes de la planta: tallos, madera, hojas, semillas y cúpulas, pero con particular abundancia en las excreciones patológicas provocadas por ciertos insectos, conocidas comúnmente con el nombre de agallas; cuando se presentan en cantidades considerables, suelen localizarse en determinadas partes, como las hojas, frutos, corteza o tallos.

Sus principales características son las siguientes:

- compuestos químicos no cristalizables cuyas soluciones acuosas son coloidales, de reacción ácida y sabor astringente.
- precipitan con gelatina, albúmina y alcaloides en solución.
- con las sales férricas dan coloraciones negro azuladas o verdosas.
- producen un color rojo intenso con ferricianuro de potasio y amoníaco.
- precipitan a las proteínas en solución y se combinan con ellas, haciéndolas resistentes a la enzimas proteolíticas. Esta propiedad, denominada astringencia, fue mencionada anteriormente.

Dentro de las funciones que desempeñan en la planta, se les atribuye, entre otras, las que a continuación se mencionan:

- contribuyen a la formación del súber.
- son imprescindibles en la formación de sustancias vegetales, como aceites esenciales, resinas, lignina, etc.
- juegan un papel protector, evitando el ataque de insectos y hongos, de allí que se les atribuya propiedades fungicidas y bacteriostáticas.
- cumplen un papel moderador de los procesos de oxidación y de acciones antifermentos.
- se les considera sustancias de reserva, y por otro lado, materiales de desecho; en este último caso, luego de proteger a la planta en ciertas etapas del crecimiento, finalmente se destruyen o depositan como

producto del metabolismo en ciertos tejidos muertos de la planta madura, como el súber externo, el leño y las agallas.

## 4.2. Tipos de taninos [2]

Los taninos se dividen normalmente en dos grandes grupos: los taninos hidrolizables y los taninos no hidrolizables o taninos condensados. Los taninos naturales presentes en las uvas son, predominantemente, los de tipo condensado.

- **Taninos hidrolizables**

Los taninos hidrolizables son polifenoles complejos que pueden ser degradados a unidades más pequeñas (mayoritariamente azúcares y ácidos fenólicos) a través de cambios de pH, así como por hidrólisis enzimática o no enzimática.

La unidad básica de los taninos hidrolizables de tipo poliéster son el ácido gálico y el ácido hexahydroxydiphenico y sus derivados (por ejemplo ácido elágico) mostrados en la *figura 4.1*. Estos ácidos habitualmente se esterifican con D-glucosa resultando especies de pesos moleculares entre 500 y 2800. Estos taninos hidrolizables se han denominado galotaninos (que hidrolizan en ácido gálico) o elagitaninos (que hidrolizan en ácido elágico). Pueden contener uno o más restos de ácido hexahydroxydiphenico esterificados a un poliol, por lo general la glucosa. La hidrólisis con ácidos o bases de los elagitaninos resulta en ácido hexahydroxydiphenico que espontáneamente se convierte en ácido elágico.

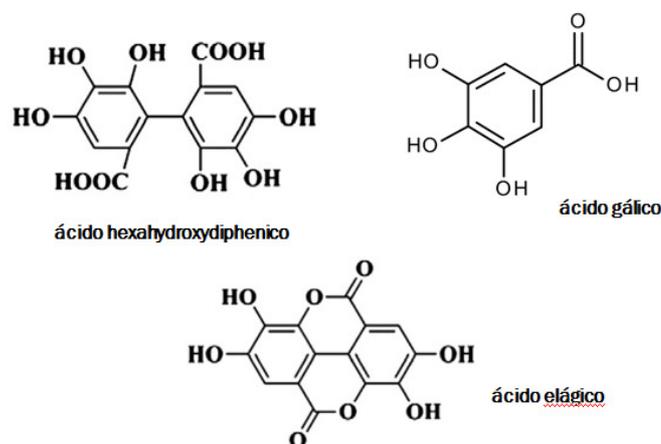
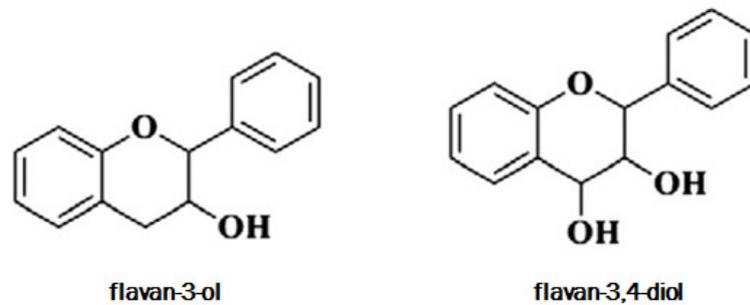


Figura 4.1. Estructura química de los ácidos hexahydroxydiphenico, gálico y elágico.

- **Taninos condensados**

Los taninos condensados o proantocianidinas son compuestos poliméricos que dan lugar a las antocianinas. Se encuentran en cantidades residuales en las partes sólidas de la uva (por ejemplo los hollejos y las pepitas), así como en la pulpa. La cantidad, estructura y grado de polimerización de las proantocianidinas depende de localización particular en los tejidos de la uva.

Las proantocianidinas normalmente se presentan como oligómeros o polímeros de flavan-3-ols. Los flavan-3,4-dioles, también llamados leucoantocianidinas, son precursores de los flavan-3-ols, y por tanto, están indirectamente involucrados en la producción de proantocianidinas. La estructura química de estos compuestos se refleja en la *figura 4.2*.



*Figura 4.2. Estructura química del flavan-3-ol y del flavan-3,4-diol.*

Las proantocianidinas identificadas en las uvas de *V. vinifera* son principalmente oligómeros y polímeros de (+)-catequina y (-)-epicatequina unidos por un enlace C<sub>4</sub>-C<sub>8</sub>. Estas unidades monoméricas también se pueden estabilizar con enlaces C<sub>4</sub>-C<sub>6</sub> o C<sub>4</sub>-C<sub>8</sub>. Las proantocianidinas y prodelfinidinas, que hidrolizan en cianidina y delfinidina respectivamente, son conocidas como los taninos condensados más abundantes en las uvas y el vino.

Se han identificado oligómeros con un grado máximo de polimerización de 16 en especies de *V. vinifera*. Los taninos presentes en las pepitas de uva son polímeros de flavan-3-ols (catequinas y epicatequinas) y monómeros de (-)-epigalocatequina. Por su parte, la piel (hollejos) de la uva contiene (-)-epigalocatequina y trazas de (+)-galocatequina y (-)-epigalocatequina galato. En la *figura 4.3* se muestran las proantocianidinas presentes en la uva.

## 4. INTRODUCCIÓN

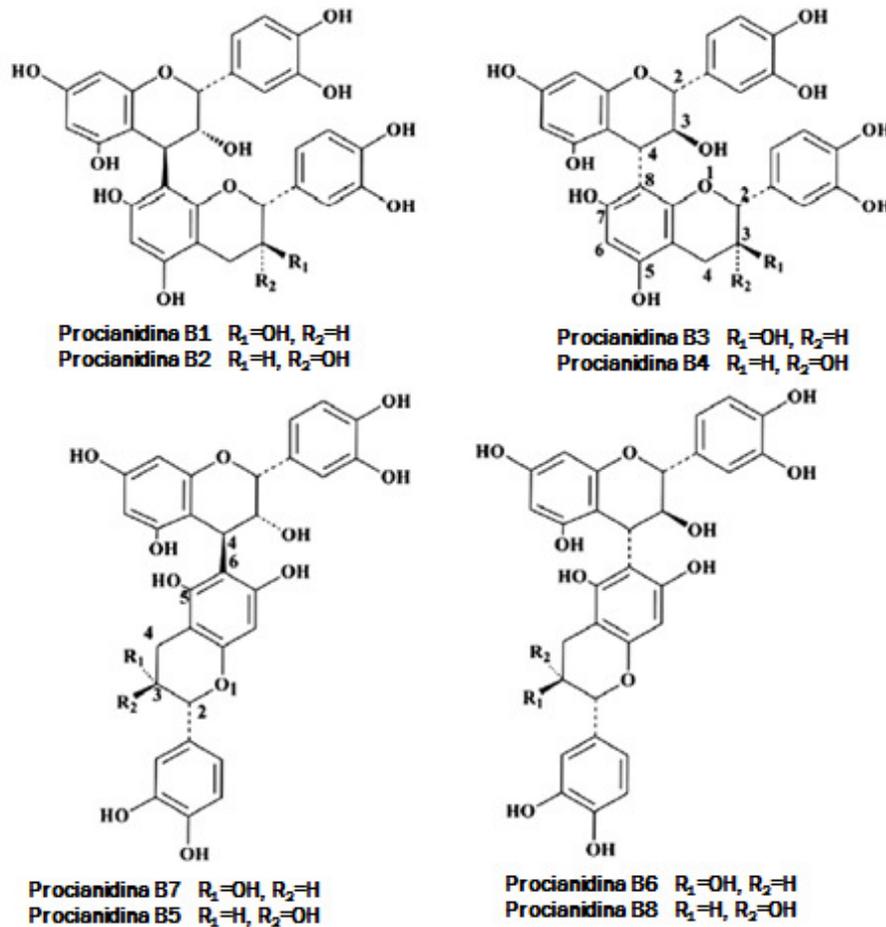


Figura 4.3. Procianidinas presentes en las uvas.

### 4.3. Aplicaciones de los taninos [1]

Ambos tipos de taninos, hidrolizables y condensados, se emplean en la **industria del cuero**, por su gran poder curtiente, permitiendo obtener una amplia variedad de cueros, que se diferencian en flexibilidad y resistencia.

Los taninos condensados se usan principalmente en la fabricación de **adhesivos y resinas**. Por ejemplo, algunos tipos de taninos han servido para desarrollar adhesivos en frío y termofraguados por tratamiento con úrea-formaldehído, o con copolímeros fenolformaldehído; estos últimos usados en la fabricación de enchapes de madera a prueba de agua.

Los taninos hidrolizables encuentran amplia aplicación debido a sus propiedades antioxidantes y su habilidad para formar complejos solubles e



## 4. INTRODUCCIÓN

insolubles con las proteínas. Por ello se emplean en las **industrias de alimentos, farmacéutica y en cervecería.**

En este último campo, por ejemplo, se usan como estabilizadores de la cerveza: en el producto que no ha sido recientemente preparado, las proteínas se combinan con los polifenoles para formar complejos que son responsables de la presencia de turbidez. Al agregar los taninos, el nivel de proteínas disminuye a un valor apropiado y se aumenta así el tiempo de almacenamiento de la cerveza.

En la industria farmacéutica, se emplean para contraatacar el efecto de los alcaloides y el envenenamiento por sales de metales, inactivándose éstos por precipitación.

En la industria de alimentos se puede, por ejemplo, eliminar impurezas proteínicas por precipitación con taninos, emplearlos en la preservación y maduración de alimentos, aprovechando sus propiedades antisépticas y antioxidantes, y también en la clarificación del vino blanco.

Es interesante encontrar una serie de investigaciones donde se reportan actividades biológicas de los taninos aislados, así como de los extractos vegetales que los contienen. Cabe mencionar algunas de estas actividades por considerar que contribuyen a profundizar el conocimiento acerca de la aplicabilidad de estos compuestos.

Así, se reporta para algunos tipos de taninos las siguientes propiedades: **propiedades antioxidantes y contra el envejecimiento celular, efectos antimicrobiales, efecto antitumoral** contra un tipo de carcinoma, **actividad antiherpética (antiviral), de inhibición hepatotóxica y del proceso de peroxidación de lípidos, antiulceroso** y recientemente se mencionan ensayos con taninos en la investigación del virus de inmunodeficiencia humana (VIH) con resultados prometedores.

En cuanto a los extractos de taninos se señala, entre otros, el **efecto cariostático (inhibidor de caries)**, el efecto **inhibidor para el crecimiento de diversos virus** y la **actividad hemostática y antiinflamatoria** en formulaciones basadas en taninos.

Su aplicación en otros campos está orientada, por ejemplo, a la **extracción de Pb, Fe, Ca, Ba y Ra** presentes en soluciones por coprecipitación con gelatina y taninos, al **efecto anticorrosivo en superficies de Fe** expuestos al medio ambiente, al empleo en la **elaboración de tintas** y como **recubrimiento protector de cinc y aleaciones de este metal.**



#### 4.4. Estado del arte

De la revisión bibliográfica realizada, se desprende observar que la información disponible respecto a la extracción selectiva de taninos a partir de residuos de uva, es escasa, siendo un tema de actualidad, ya que los diferentes estudios encontrados datan de 2006 en adelante.

*Lan Ping et al. (2011) [3]* en analizan la extracción de taninos en medio acuoso en presencia de diferentes sustancias como NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub> y eventualmente en presencia de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. El objetivo principal de la extracción de taninos en este estudio es usarlo como adhesivo para madera. Del estudio se puede concluir que con una solución acuosa de NaOH al 15%, a 120°C, trabajando en un recipiente agitado y con un tiempo de extracción de 120 min, el rendimiento de la extracción es de 58.8 mg taninos/g materia seca, siendo este rendimiento el mayor obtenido de todas las diferentes combinaciones de agua y otras sustancias. También se concluye que es posible crear un adhesivo a base de taninos que cumpla los estándares internacionales para el uso en interiores.

*Hasseb Nawaz et al. (2006) [4]* han investigado la extracción de polifenoles de pepita de uva. Para ello han utilizado el método extracción con disolvente, usando un mezcla de 50% etanol y 50% agua. También han estudiado los efectos beneficiosos de añadir una etapa de ultrafiltración. Para optimizar la extracción, se han investigado diferentes condiciones experimentales, tales como el ratio sólido-líquido (0.1-0.25 g/ml), el número de etapas de extracción (simple, doble o triple) y el tamaño de poro de la membrana (0.22 y 0.45 µm). Las condiciones optimas encontradas fueron de: un ratio sólido-líquido de 0.2 g/ml, con doble etapa de extracción y tamaño de poro de la membrana de ultrafiltración de 0.22 µm, consiguiendo una máxima cantidad de polifenoles de 11.4% del peso total de las pepitas.

El artículo publicado por *Voltaire Sant'Anna et al. (2012) [5]* busca encontrar un modelo cinético de la extracción de polifenoles de hollejo de uva. Para obtener el modelo cinético previamente han analizado la extracción de estos polifenoles, resultando que la máxima cantidad de polifenoles extraída corresponde a un ratio líquido-sólido de 50 mL de etanol al 50% por gramo de materia seca de hollejo de uva. Este máximo rendimiento se alcanza a una temperatura de 60°C y su valor fue de 22.1 mg GAE/g (GAE=equivalentes de ácido gálico). El estudio también propone un modelo que mejor se ajusta a los resultados obtenidos y calcula los parámetros de este modelo.



## 4. INTRODUCCIÓN

La tarea investigadora llevada a cabo por *Ceferino Carrera et al. (2012) [6]* se centra en la extracción de compuestos fenólicos de uva con la utilización de ultrasonidos. Se evaluaron diferentes variables incluyendo la temperatura de extracción (0-75°C), la amplitud de salida (20, 50 y 100%), el ciclo de trabajo (0.2 s, 0.6 s y 1 s), la cantidad de muestra (0.5-2 mg) y el tiempo total de extracción (3-15 min). De la investigación concluye que con una extracción utilizando como disolvente una mezcla de agua y etanol al 50% y con la utilización de los ultrasonidos, en tan sólo un tiempo de 6 min de extracción se consiguen unos rendimientos de 6.72 mg de taninos condensados/g de uva. Este tiempo es mucho menor que la extracción convencional utilizada como método de referencia, cuya duración sería de 60 min.

Por su parte, *Marwa Brahim et al. (2014) [7]* también estudian la extracción de polifenoles en medio acuoso por medio de microondas en presencia de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Pretenden extraer polifenoles de diferentes fuentes como son hollejos de uva roja, hollejos de uva blanca y bagazo de uva para usarlos en la producción de adhesivos. Experimentan con varios parámetros: la temperatura (60-120°C), el tiempo de residencia (5-20 min) y la concentración de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (0-2.5%). Los valores óptimos que encuentran para estos parámetros son: 100°C, 8 min y sin el uso de carbonato de sodio para el hollejo de uva y 100°C, 8 min y 2.5% w/w de carbonato de sodio para bagazo de uva. Así mismo concluyen que con la utilización de microondas, los rendimientos de extracción son mayores comparados con los métodos tradicionales de extracción, por lo que este método podría ser la alternativa recomendada para la extracción de compuestos fenólicos de residuos de uva en medio acuoso.

El estudio desarrollado por *Tünde Vatai et al. (2009) [8]* se centra en inquirir sobre las condiciones óptimas para la extracción de compuestos fenólicos de bayas de saúco y de diferentes variedades de pomada de uva usando disolventes orgánicos. Su objetivo es obtener extractos con alto contenido en antocianinas, que sean estables durante su almacenamiento y que tengan potencial interés para su uso como colorantes naturales. Para este propósito, se ha analizado tres variedades de hollejo de uva, utilizando una extracción batch con una única etapa de extracción, y diferentes disolventes orgánicos (etanol, acetato de etilo y acetona) con diferentes ratios en medio acuoso. Las temperaturas usadas durante el proceso fueron de 20°C, 40°C y 60°C, también analizándose la influencia de cambios de pH del medio de extracción para ver como afectaba al rendimiento de extracción y a la degradación de las antocianinas. El resultado del estudio es que 60°C es la mejor temperatura para la extracción, y dependiendo de la variedad de uva de la que se tratase, es mejor utilizar una mezcla de disolvente u otra. De manera general



## 4. INTRODUCCIÓN

concluyen que usando etanol al 50% y una solución de agua/acetona como disolvente se obtenían los rendimientos más altos en la extracción.

*Giorgia Spigno et al. (2007) [9]* examinan los efectos del tiempo de extracción, la temperatura, la concentración del disolvente y la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos de los hollejos de uva. Con las miras puestas en la optimización de un proceso de extracción de estos compuestos fenólicos, estudian la cinética de la extracción entre 1 hora y 24 horas a las temperaturas de 45°C y 60°C, utilizando como disolvente una mezcla de agua y etanol a diferentes concentraciones de etanol. Concluyen que la extracción es un proceso lento, con mayores rendimientos a 60°C en comparación a 45°C, con una aparente degradación térmica de los compuestos por encima de 20 horas. El rendimiento en la extracción de compuestos fenólicos se incrementa con agua con contenido de etanol de entre el 10% y el 30%, y permaneció constante para concentraciones de etanol de entre el 30% y el 60%, mientras que la concentración de fenoles en el extracto disminuyó para contenidos en agua superiores al 50%. Igualmente descubrieron que el poder antioxidante de los compuestos no estaba influenciado por la concentración de etanol en el agua, sugiriendo que este parámetro sólo afectaría a la cantidad total de componentes fenólicos extraídos y no a su naturaleza, y que la liofilización no alteraba la composición ni las propiedades antioxidantes de los extractos.

Tras esta revisión bibliográfica del estado del arte, se puede llegar a la conclusión de que existe poca información respecto a la extracción de taninos a partir de residuos de uva, y que la información que existe es de difícil comparación, ya que cada autor propone diferentes métodos y diferentes disolventes para la extracción selectiva de taninos, lo que hace que la comparación directa de los resultados no sea posible. En esta revisión bibliográfica no se han tenido en cuenta aquellos artículos que llevaban a cabo la extracción con fluidos supercríticos, ya que el objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es obtener taninos a partir de residuos de uva utilizado como disolvente un medio acuoso.

A modo de resumen de la revisión bibliográfica, la *tabla 4.1* muestra la información más relevante para nuestro propósito de cada uno de ellos.

## 4. INTRODUCCIÓN

Agente extracción	P	T	Rendimiento	Tiempo extracción	Tipo extracción	Pretratamiento	Referencia
Agua/Etanol 50%	Amb	60°C	60,6 mg GA/g dry material	2h	Discontinuo	Hollejos de uva liofilizados	Tünde Vatai, Mojca Skerget, Zeljko Knez (2009)
Agua/Etanol 50%	Amb	Amb	11,4% polifenoles del peso total de pepitas de uva	≈2h30min	Extracción en doble etapa y ultrafiltración con membrana de 0,22μm	Secado en horno a 60°C hasta una humedad de 2-4% y molido hasta un polvo fino	Hasseb Nawaz, John Shi, Gauri S. Mittal, Yukio Kakuda (2006)
Agua/Etanol 50% con HCL (pH 2,0)	Amb	10°C	≈7mg tannins/g de uva	6 min	Discontinuo mediante ultrasonidos	Triturada y congelada a -20°C	Ceferino Carrera, Ana Ruiz-Rodríguez, Miguel Palma, Carmelo G. Barroso (2012)
Microondas con Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Amb	100°C	≈7mg GAE/g DM	8min	Discontinuo mediante microondas	Secadas al aire y almacenadas a temperatura ambiente	Marwa Brahim, François Gambier, Nicolas Brosse (2014)
Agua/Etanol 50%	Amb	60°C	≈22,61 mg GAE/g	1h 15min	Discontinuo agitado	Secadas en horno de convección forzada 70°C hasta humedad 7,5%, tamizadas y en oscuridad a -40°C	Voltaire Sant'Ana, Adriano Brandelli, Ligia Damasceno Ferreira, Isabel Cristina Tessaro (2012)
Agua/Etanol 60%	Amb	60°C	≈48,2 mg polifenoles/100g uva liofilizada	5h	Discontinuo agitado	Secadas en horno a 60°C hasta humedad de 2-4% y tamizadas.	Giorgia Spigno, Lorenza Tramelli, Dante Marco de Faveri (2007)
Agua/NaOH 15%	↑Amb	120°C	≈56,1 mg taninos/100 g pomada uva	2h	Autoclave	Secadas al aire y almacenadas a temperatura ambiente	Lan Ping, Antonio Pizzi, Zhou Ding Guo, Nicolas Brosse (2011)

Tabla 4.1. Resultados más favorables en la extracción de cada estudio.

**Revisión de patentes existentes <sup>[10]</sup>**

De la revisión de patentes se puede concluir que no existen patentes relacionadas directamente con la extracción de taninos a partir de pomada de uva. Únicamente se ha encontrado alguna patente relacionada con el uso de taninos para el curtido de pieles o en otras aplicaciones.



## 4.5. Justificación de este Trabajo de Fin de Grado

El interés por los taninos está creciendo rápidamente desde hace unos años atrás, debido a los diferentes estudios que le atribuyen magníficas propiedades en diversos campos del conocimiento e industrias. A este respecto, cabe destacar que existen algunas plantas industriales que extraen polifenoles procedentes de los residuos tras la vinificación, pero no así que extraigan taninos selectivamente.

Castilla y León es conocida por su gran riqueza en viñedos y tipos de vinos, lo que hace que haya gran materia prima disponible. Aunque gran parte del contenido tánico de la uva ha pasado al vino durante su maceración, los residuos de uva todavía contienen compuestos tánicos que son de gran interés para diversas industrias, como se explicó en el apartado de aplicaciones de los taninos más arriba.

Por tanto, el objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es diseñar un proceso que sea capaz de extraer selectivamente estos taninos presentes en los residuos de uva, y no toda una gama de polifenoles.

Como se ha podido ver en la revisión bibliográfica, la información existente respecto a la extracción selectiva de taninos es escasa, planteándose en este trabajo el dimensionado de una instalación a escala piloto como paso previo a un posterior escalado industrial ya que no se dispone de datos suficientes sobre la extracción de taninos, y siendo estos datos tan variados respecto al tipo de disolvente, tiempos de extracción y otros parámetros del proceso.

Por último, cabe destacar que de entre las tecnologías disponibles para la extracción selectiva de estos compuestos tánicos, se ha decidido optar por una que posibilite el uso del extracto en todas o la mayoría de las industrias que actualmente están demandando taninos, o que en un futuro cercano lo estarán.

A este efecto, tradicionalmente se han utilizado taninos en la industria del curtido de pieles, pero las disoluciones empleadas en esta industria contenían taninos y otros muchos solutos, lo que no las hace aptas para el uso en otras industrias.

En la industria alimentaria y farmacéutica, la pureza y la ausencia de sustancias tóxicas es fundamental, por lo que nuestro proceso, que usa una



#### 4. INTRODUCCIÓN

disolución poco concentrada de hidróxido de sodio, hace que licor tánico obtenido sea apto para estas industrias tan exigentes.

Debido a que recientes estudios le atribuyen a los taninos propiedades muy beneficiosas para la salud humana, las industrias farmacéutica y alimentaria serán grandes demandantes de taninos, por lo que los taninos obtenidos en nuestro proceso si serán capaces de cumplir los estándares necesarios. Por consiguiente, nuestro concentrado de taninos también será apto para cualquier otra industria que los necesite, ya que, en general, el resto de industrias demandantes de taninos no requieren estándares tan elevados como los anteriormente citados.





# 5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS



En este apartado se recogen los criterios de la selección de la materia prima y la selección de las tecnologías disponibles para la etapa de extracción sólido-líquido, separación sólido-líquido y concentración del licor tánico.

### 5.1. Selección de la materia prima

Para la selección de la materia prima, se tuvo en cuenta que fuese una materia prima fácilmente disponible y que contuviese taninos en suficiente cantidad como para garantizar la viabilidad técnica y económica del proceso propuesto.

A este respecto, la zona de Valladolid y alrededores es una zona muy rica en viñedos y en industria vinícola, lo que hace que haya gran disponibilidad de residuos de uva, resultante del proceso de vinificación.

La pomada de uva (constituida mayoritariamente por pepitas, hollejos y tallos) se considera un residuo resultante del el proceso de producción de vinos, por lo que se le estaría dando una valorización a este residuo, pudiéndose extraer de él un producto de alto valor añadido.

En la *figura 5.1* se muestra la composición de las diferentes partes de un racimo de uva y de una baya. Como se puede observar, tanto en la piel como en la pepita y el tallo (raspón), se encuentran los taninos.

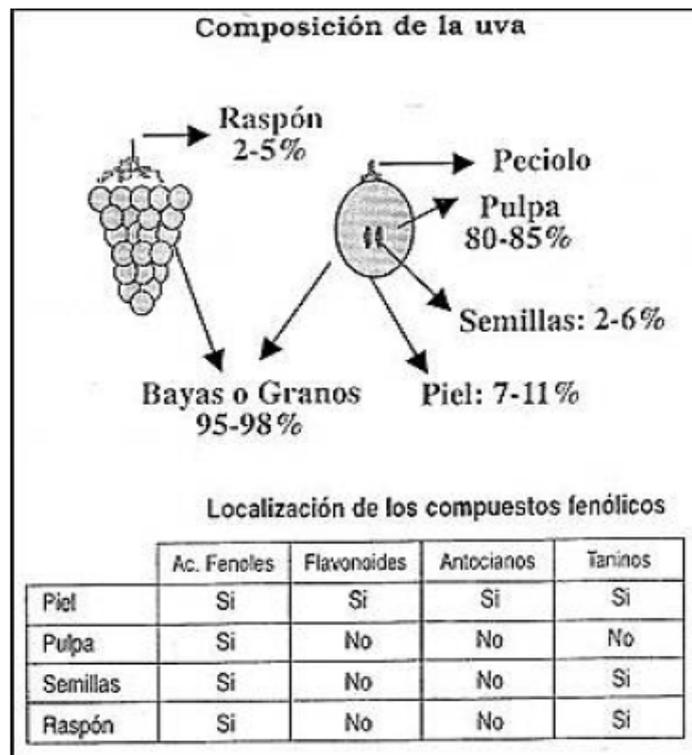


Figura 5.1. Composición y proporciones de un racimo y una baya de uva.

Dentro de las estructuras en las que es posible encontrar taninos de uva, la proporción de taninos existente en cada una es:

- 10% jugo de uva
- 30% en la piel
- 60% en las pepitas (semillas) de uva

Todo esto hace que la **pomada de uva sea la materia prima idónea** para nuestro proceso, ya que es altamente disponible en la zona y contiene la mayor parte de los taninos en la uva.

## 5.2. Selección de tecnologías

### 5.2.1. Extractor sólido-líquido

La extracción sólido-líquido o lixiviación puede llevarse a cabo de manera continua o en batch (por cargas). Así mismo, esta operación puede llevarse a cabo en una única etapa de equilibrio o a través de sucesivas etapas de equilibrio. Algunos de los equipos más comunes para el desarrollo de esta operación son:

- *Extractor batch*

Consiste en un recipiente cilíndrico vertical dividido en dos secciones por una división inclinada. La sección superior se llena con la carga de sólido y posteriormente es rociado con disolvente fresco a través de un distribuidor de líquido. El disolvente percola a través del lecho de sólidos y se drena hacia el compartimento inferior donde, junto con cualquier extracto acuoso extraído, se lleva a ebullición. Los vapores son condensados en un condensador externo y la mezcla líquida se transporta a un separador, del cual el disolvente libre de agua es recirculado hacia el extractor como puede verse en la *figura 5.2*. Este tipo de extractor es comúnmente usado para extraer compuestos de pepitas usando como disolventes fracciones ligeras del petróleo, ya que la extracción mecánica no es muy eficiente.

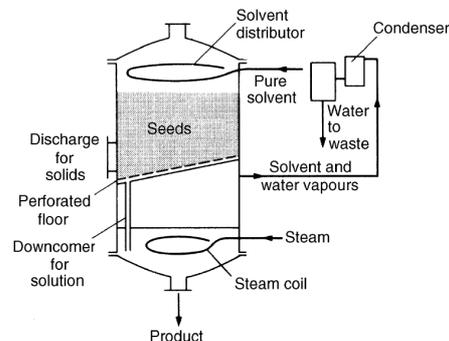
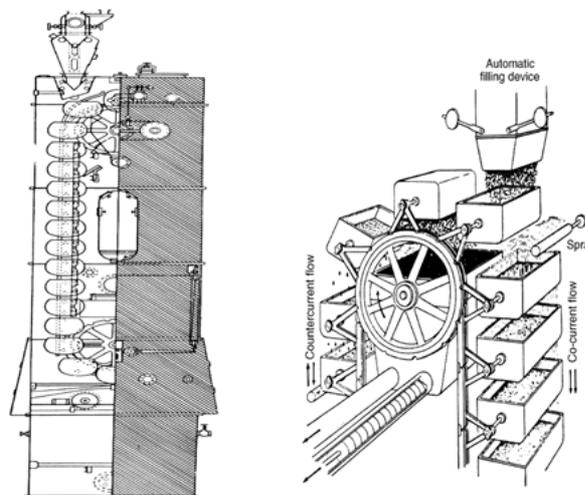


Figura 5.2. Extractor tipo batch.

- *Extractor Bollmann de lecho en continuo movimiento*

Consiste en una serie de cestillas perforadas, dispuestas como en una noria de cangilones contenida en un recipiente estanco con vapor, y es ampliamente usado con pepitas que no se disgregan durante la extracción. El sistema es alimentado con sólido sobre la cestilla superior en el lado descendente y es descargado de sólido en la cestilla superior de la parte ascendente como se muestra en la *figura 5.3*. El disolvente es rociado sobre el sólido que va a ser descargado y pasa en dirección descendente a través de las cestillas, con lo que se logra un flujo en contracorriente. Se usa cuando la extracción requiere de varias etapas de equilibrio.



*Figura 5.3. Extractor Bollman, Vista lateral y detalle de llenado de cestillas*

- *Extractor de tanque para lixiviación continua.*

Consiste en un tanque abierto donde el sólido es continuamente alimentado por la parte externa superior a través de una tolva. Dentro del tanque se ubica una tubería vertical que rota muy lentamente y lleva tres arados que se extienden hasta el tanque. De esta manera el sólido se va introduciendo gradualmente, por medio de unas perforaciones, hacia el interior de la tubería central. Un pozo hueco rota en el centro del tanque muy lentamente y un tornillo sin fin hace ascender el sólido, que finalmente es descargado por una abertura, por lo que cae por este hueco central y es evacuado por una tubería de desecho en el fondo del tanque como se puede observar en la *figura 5.4*. La lixiviación tiene lugar en la sección más externa del tanque, donde el licor madre recalentado asciende mientras que el sólido está descendiendo, consiguiendo así un flujo en contracorriente. Con este sistema se consiguen rendimientos de entre un 85% y un 90% en comparación con el 50% que se conseguiría con la extracción por cargas homóloga.

5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

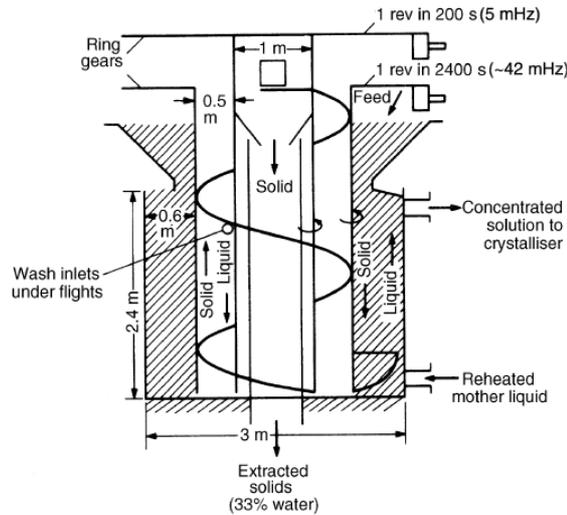


Figura 5.4. Extractor de tanque para lixiviación continua

- *Extractor de tanque agitado*

Como su propio nombre indica, consiste en un tanque con un sistema de agitación mecánica. Se usa para extracciones con sólido finamente divididos (partículas de 0.075mm o menores), ya que este sólido tiene que ser suspendido con poca agitación, y como el área total es elevada, la extracción se llevará a cabo adecuadamente en un tiempo razonable. El agitador es comúnmente posicionado en el interior de un tubo central, con una disposición de las palas tal que el líquido ascienda por el tubo (representado de manera esquemática en la figura 5.5). El líquido se descarga por la parte superior y fluye descendentemente por la parte exterior del tubo, proporcionando una circulación continua.

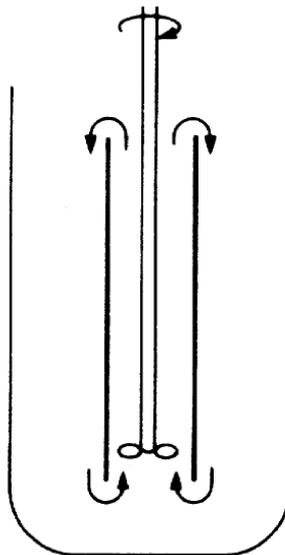
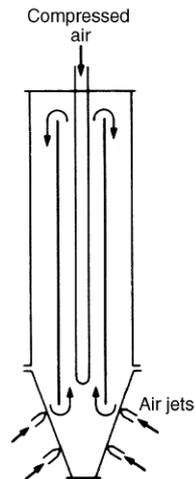


Figura 5.5. Extractor de tanque agitado

- *Extractor de tanque Pachuca*

Este extractor es en esencia un extracto de tanque agitado, con la salvedad que tiene el fondo cónico y la agitación para la circulación continua se consigue mediante aire comprimido (ver *figura 5.6*). El tubo central está conectado a un suministro de aire y funciona como un ascensor de aire. Adicionalmente, la parte cónica está provista de surtidores de aire, que se usan para desplazar cualquier material que sedimente hacia el fondo.



*Figura 5.6. Extractor de tanque Pachuca*

### Selección del tipo de extractor sólido-líquido

*Lan Ping et al. (2011) [3]* en su estudio sobre extracción de taninos a partir de pomada de uva, determinan que con una única etapa de extracción y operando en discontinuo se consiguen rendimientos relativamente altos (56.1 mg taninos/g materia seca), por lo que se selecciona como modo de operación para el equipo la operación por cargas (en discontinuo).

Con respecto al sólido a tratar, es una pomada de uva previamente secada y finamente dividida, con tamaños de partícula de 0.075 mm o menores y una concentración de sólidos en el extractor baja, de aproximadamente un 11% en peso de sólido, que ha de ser suspendido en el seno una solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH), representando el agua cerca del 88% en peso del total de la mezcla, por lo que la densidad total de la mezcla es muy cercana a la del agua ( $\rho=1042.89 \text{ kg/m}^3$ ), lo que justifica que se pueda usar agitación mecánica para suspender el sólido en la suspensión.

Así mismo, *Hasseb Nawaz et al. (2006) [4]* han estudiado la extracción en múltiples etapas, determinando que una extracción en dos etapas sería mejor, el aumento en la cantidad total de taninos extraídos es muy pequeña si comparamos dos etapas de extracción con una única etapa de extracción.

Por consiguiente, debido a que se requiere una operación por cargas (proceso batch), con agitación mecánica y con una única etapa de extracción, el equipo seleccionado será un **extractor de tanque agitado**, con la única salvedad es que el equipo estará ligeramente presurizado, con el fin de conseguir, con un ligero aumento de la presión, la temperatura suficiente para la extracción.

La extracción en discontinuo cuenta con una serie de ventajas, como son:

- ✓ Mejor operación para pequeños volúmenes de operación (instalaciones piloto) respecto a equipos en continuo.
- ✓ Son sistemas flexibles a las fluctuaciones del proceso, ya que permite adaptarse fácilmente a las condiciones del producto.
- ✓ Capital de inversión (capital inmovilizado) relativamente bajo.
- ✓ Fácil limpieza y mantenimiento
- ✓ Operación más sencilla que equipos en continuo.

### 5.2.2. Agitación mecánica

El sistema elegido para la extracción es un tanque con agitación, por lo que habrá que seleccionar el tipo de agitador que llevará incorporado el tanque.

La agitación mecánica será usada para suspender el sólido en el líquido, para así asegurar un adecuado contacto sólido-líquido y facilitar los fenómenos de transferencia de materia. La mezcla en el interior del tanque está formada en su mayor parte por agua (88% en peso), estando el sólido a suspender finamente dividido en pequeñas partículas (diámetros igual o inferiores a 0.075 mm), por lo que los tipos de agitadores a usar son aquellos para fluidos de baja viscosidad, ya que la mezcla tendrá una viscosidad muy cercana a la del agua ( $0.282 \cdot 10^{-3}$  N·s/m<sup>2</sup> a la temperatura de operación de 100°C) al estar la disolución prácticamente compuesta en su totalidad por agua.

Los agitadores de tipo hélice, de tipo turbina y de tipo paleta son generalmente usados en sistema con relativamente baja viscosidad, operando a altas velocidades de rotación.

- *Agitador tipo hélice*

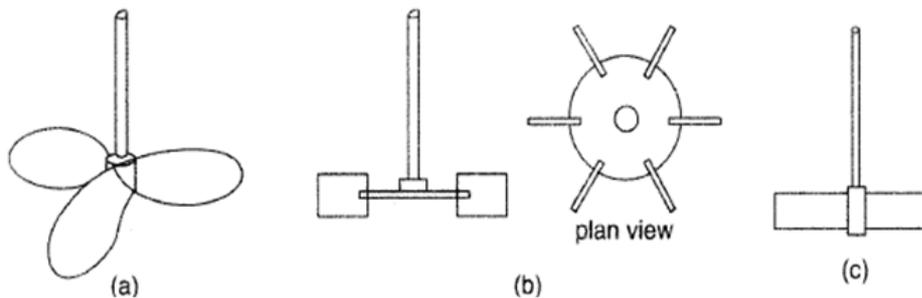
Una hélice es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos de baja viscosidad, mostrado en la *figura 5.7.a*). Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado. Son eficaces en tanques muy grandes, generalmente posee tres aspas y se usa para homogeneizar, suspender y favorecer el intercambio de calor.

- *Agitador tipo turbina*

La mayor parte de ellas se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran a altas velocidades sobre un eje montado centralmente en el tanque, generando corrientes principalmente radiales y tangenciales. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. Las turbinas son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. Un ejemplo de este tipo de agitador se muestra en la *figura 5.7.b*).

- *Agitador de tipo paleta*

Se utiliza para los casos más sencillos de agitación o mezcla. Consta de una o varias palas planas (frecuentemente de dos a cuatro palas), que giran sobre un eje vertical a bajas o moderadas velocidades en el centro del tanque (*figura 5.7.c*)), impulsando el líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Se utiliza para homogeneizar, favorecer el intercambio de calor, inyección de un gas en un fluido y emulsionar.



*Figura 5.7.a) Agitador de hélice. b) Agitador de turbina. c) Agitador de palas.*

### Selección del tipo de agitador

El agitador más adecuado dependerá del tipo de mezcla requerido, la capacidad del tanque y las propiedades del fluido, principalmente la viscosidad. En nuestro caso, tenemos un tanque pequeño, de (0.05 m<sup>3</sup> de volumen) con una disolución con viscosidad muy cercana a la del agua (0.282·10<sup>-3</sup> Ns/m<sup>2</sup> a la temperatura de operación de 100°C), ya que la disolución contiene un 88% en peso de agua. En el *diagrama 5.1* se muestran diferentes curvas de varios tipos de agitadores en función de la viscosidad de la disolución y el tamaño del tanque.

Teniendo en cuenta la densidad de nuestra mezcla y el tamaño del tanque, el *diagrama 5.1* propone que el tipo de agitador más adecuado para nuestro caso sería una **turbina** operando a unas 1750 rpm (≈29 Hz). Este tipo de agitador genera corrientes radiales y axiales, lo que hará que el sólido quede

perfectamente suspendido en el fluido y así se favorezcan los fenómenos de transferencia de materia.

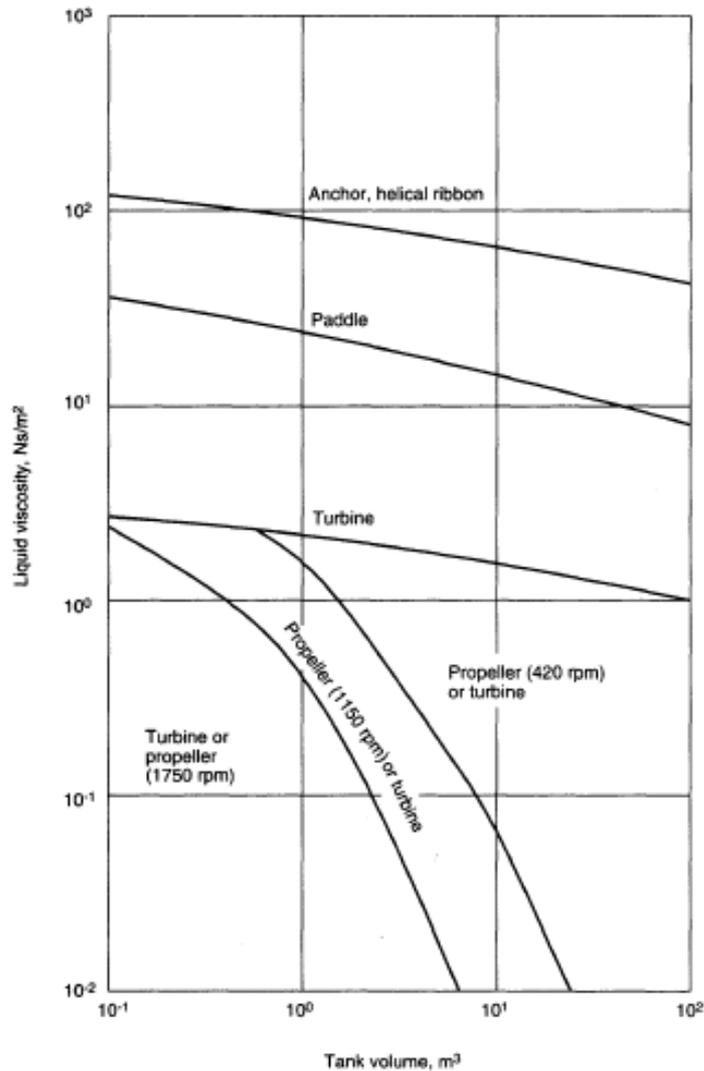


Diagrama 5.1. Guía de selección de turbinas

### 5.2.3. Separación pomada-disolvente (sólido-líquido)

Tras la etapa de extracción, el disolvente con los taninos disueltos tiene que ser separado de la pomada. Para ello, los equipos más extensamente utilizados son decantadores, filtros y centrífugas. En el *diagrama 5.2* se representan las diferentes técnicas de separación sólido-líquido.

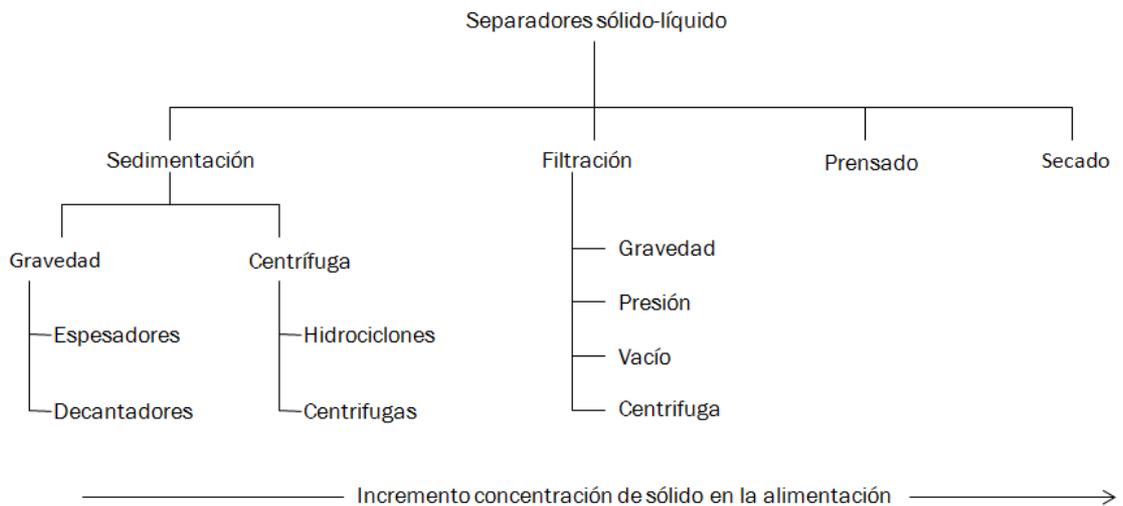


Diagrama 5.2. Técnicas de separación sólido-líquido

- *Decantador*

Consistente en un tanque en el que se introduce la disolución y por efecto de la gravedad los sólidos van sedimentando y son recogidos en el fondo del tanque, mientras que el clarificado (líquido libre de partículas sólidas) se recoge por la parte superior, representado en la *figura 5.8*. Con este sistema se pueden tratar grandes volúmenes de disolución, pero requieren tiempos de residencia relativamente altos.

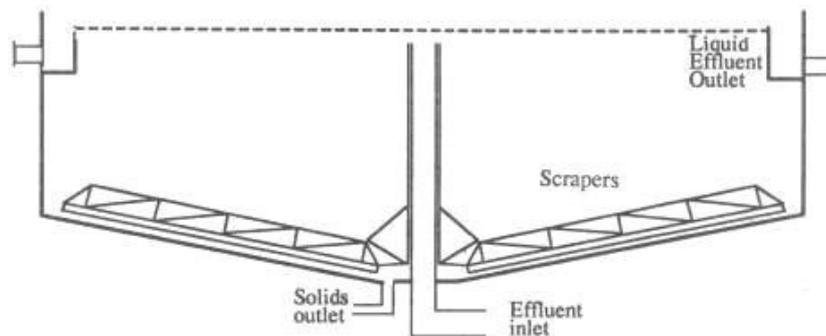


Figura 5.8. Decantador

- *Filtro de marcos y placas*

Consistente en unos marcos y placas dispuestas alternativamente y soportadas sobre un par de raíles, como se muestra en la *figura 5.9*. Los platos tienen una superficie estriada y los bordes sobresalen ligeramente. El marco hueco se separa de la placa por una tela filtrante. De esta manera de forma una cámara entre placas sucesivas. El líquido atraviesa la tela filtrante, mientras que el sólido queda retenido formando una torta. La filtración se

produce gracias a la diferencia de presión existente. Cuando la torta formada es suficientemente gruesa, aumenta mucho la resistencia al paso del filtrado, por lo que se tienen que desmontar, y cada placa tiene que ser tratada para retirar la torta formada, lo que conlleva unos tiempos de limpieza relativamente altos.

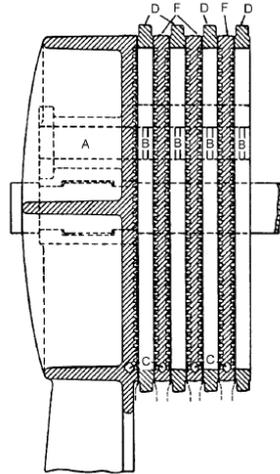


Figura 5.9. Filtro de marcos y placas. A-Canal entrada. B-Puerto alimentación. C-Salida del filtro. D-Marcos. F-Placas

- *Centrifuga tipo tazón*

Este tipo de centrifugas de tazón no perforado se pueden usar para producir una separación acelerada de partículas sólidas en un líquido o para separar mezclas de líquidos, mientras que con el tazón perforado se usa cuando es necesario separar de un líquido partículas relativamente grandes. En el primer caso (representado en la figura 5.10), los sólidos se depositan en la pared del tazón y el líquido es retirado por desbordamiento o por un tubo. La suspensión es alimentada en continuo hasta que se forma una capa de cierto espesor sobre la pared; este depósito es entonces extraído manualmente o con un rascador mecánico o cuchilla.

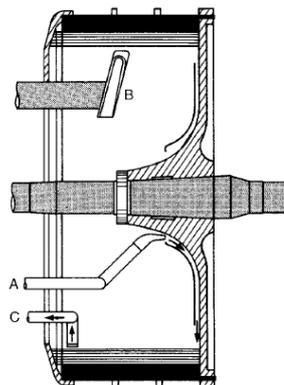
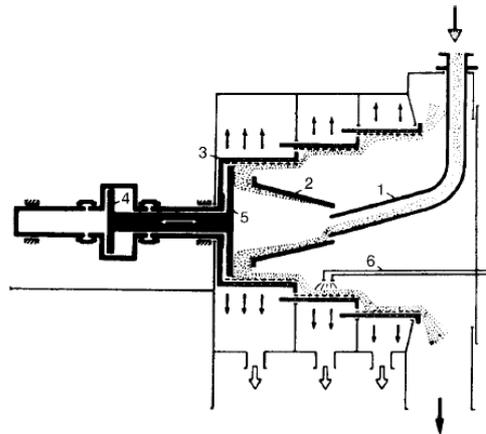


Figura 5.10. Centrifuga tipo tazón montada horizontalmente con descarga automática de sólidos. A-Alimentación. B-Rascador. C-Tubo descarga.

- *Centrífugas tipo Pusher*

Este tipo de centrífuga se usa para la separación de suspensiones y puede estar equipada con un tazón perforado o no perforado. La alimentación se introduce mediante un embudo cónico y la torta se forma en el espacio entre el borde y el final del tazón, como se muestra en la *figura 5.11*. Los sólidos son movidos intermitentemente a lo largo de la superficie del tazón por la acción de empujador alternativo. El empujador avanza y retrocede inmediatamente y después espera hasta que se forma otra torta de sólido antes de volver a avanzar. El líquido, o bien pasa por los agujeros del tazón o, en el caso de un tazón no perforado, se retira por desborde.



*Figura 5.11. Centrífuga tipo Pusher. 1-Entrada. 2-Embudo de entrada. 3-Tazón. 4-Pistón. 5-Disco de empuje. 6-Spray de lavado*

- *Centrífuga de tazón tubular*

Debido a que, para una determinada capacidad de separación la tensión en las paredes es mínima para máquinas con diámetros pequeños, las máquinas con una alta capacidad de separación generalmente usan tazones muy altos y de diámetro pequeño. Una centrífuga típica de este tipo consiste en un tazón de unos 100mm de diámetro y 1 m de alto, incorporando placas longitudinales para que actúen como aceleradoras del líquido llevándolo a altas velocidad rápidamente, como puede observarse en la *figura 5.12*. En máquinas de laboratorio, velocidades superiores a 50000 rpm (1000 Hz) se usan para proporcionar aceleraciones de 60000 veces la aceleración de la gravedad. Generalmente la alimentación contiene trazas de sólidos densos y dos fases líquidas. La fase sólida se deposita en la parte interior del tazón y la máquina es desmontada periódicamente para retirarlos.

## 5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

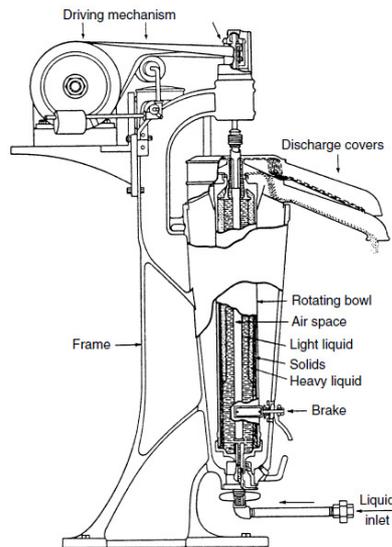


Figura 5.12. Vista seccional de una super-centrífuga de tazón tubular.

### Selección del tipo de separador sólido-líquido

A la vista de las tecnologías disponibles para la separación sólido-líquido, los decantadores son sistemas que requieren tiempos de residencia mayores, ya que dependen de la acción de la gravedad, por lo que no se considera apropiado para esta aplicación. Los filtros y las centrífugas son aptos para nuestro proceso. Dado que nuestra concentración de sólido es de tan sólo un 8% en peso (concentración baja de sólidos en la alimentación), y teniendo en cuenta el *diagrama 5.2*, la separación mediante centrífugas es apropiada para cumplir los objetivos deseados con alimentaciones poco concentradas, ya que al proporcionar aceleraciones mucho más altas que la gravedad, la separación sólido-líquido será rápida y eficiente. Dentro de los tipos de centrífugas tratados, la elegida es la de **centrífuga de tazón tubular**, ya que es un sistema muy compacto, diseñado para una eficaz separación de sólido y de líquido operando de manera sencilla, alcanzando rendimientos del 90% (*Coulson and Richardson, Vol.6, [11]*). Además, su operación es bastante económica (más que los filtros que requieren un sistema de presión) y la limpieza es más sencilla y rápida, siendo sus tiempo de operación más bajos.

#### 5.2.4. Concentración del licor tánico

Tras la extracción y posterior separación disolvente-pomada, el disolvente contiene taninos disueltos pero en una concentración muy baja, por lo que habrá que concentrar dicho licor. Dos técnicas sencillas y ampliamente utilizadas para este propósito son la evaporación y la tecnología de membrana, las cuales trataremos brevemente a continuación.

### 5.2.4.1. Concentración mediante evaporación.

- *Evaporador de tipo cesta*

Este tipo de evaporadores pertenecen al grupo de evaporadores de convección natural. Están dotados de unos tubos verticales, con vapor por el exterior, suspendidos en el centro del evaporador como se puede apreciar en la *figura 5.13*, lo que posibilita que haya un descenso anular. Las ventajas de este tipo de evaporador son que la unidad calefactora puede ser extraída fácilmente para realizar reparaciones y que los sólidos que se puedan formar en la zona de descenso no se desintegran. Este tipo de evaporadores se usan para capacidades de procesamiento muy grandes.

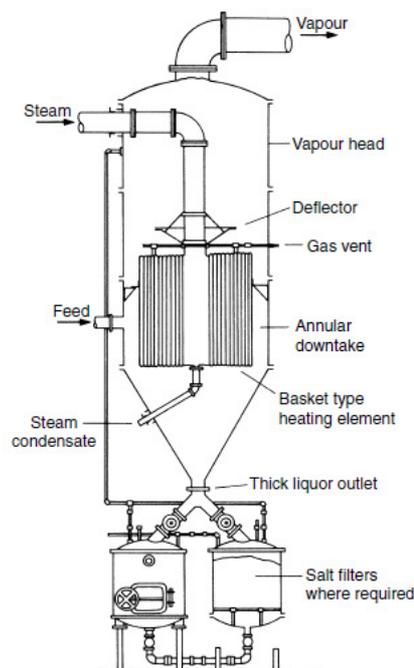


Figura 5.13. Evaporador de tipo cesta.

- *Evaporador de convección forzada*

Estos evaporadores, representado de manera esquemática en la *figura 5.14*, están dotados de una bomba de circulación externa, normalmente de tipo centrífugo cuando hay sólidos presentes, aunque se pueden usar otros tipos de bombas. El licor o bien es introducido por la parte inferior y es bombeado directamente a través de la calandria, o bien es introducido en la sección de separación. En la mayoría de unidades, la ebullición no tiene lugar en los tubos, porque, debido a la carga hidrostática, el líquido alcanza el punto de ebullición en el espacio de separación. Por consiguiente, el licor entra por la parte inferior de los tubos y es calentado a medida que asciende, al mismo tiempo que la presión disminuye. La circulación forzada permite alcanzar mayores grados de concentración. Debido a que los costes de bombeo son

aproximadamente proporcionales a la velocidad al cubo, los elevados costes de operación del bombeo pueden hacer que el sistema no sea económicamente rentable, ya que tenemos que hacer al fluido circular a velocidades mayores que los de la convección natural

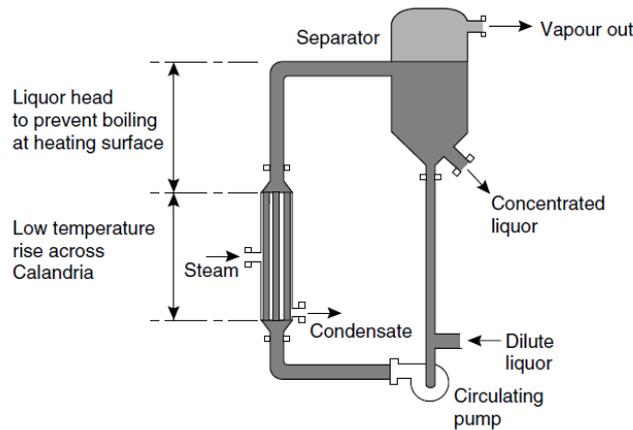


Figura 5.14. Evaporador de convección forzada

- *Evaporador de película descendente*

Son los más simples y los más comúnmente usados dentro de los evaporadores de tipo película en los que el líquido fluye, debido a la fuerza de la gravedad, como una película fina por el interior de tubos verticales calefactados; el vapor resultante normalmente fluye a contracorriente con el líquido en el centro de los tubos. Una estación evaporadora completa consiste en el evaporador, un separador para separar los vapores del líquido residual y un condensador, como se ejemplifica en la *figura 5.15*. Cuando se requieren altos ratios de evaporación, parte del líquido concentrado es recirculado hacia la entrada del evaporador para asegurar que los tubos están suficientemente mojados. Una parte esencial del evaporador es el sistema de distribución de líquido, ya que la alimentación líquida no sólo debe estar uniformemente distribuida por todos los tubos, sino que también debe formar una película continua en la circunferencia interior de los tubos. Algunas de las ventajas de este tipo de evaporador son: altos coeficiente de transferencia de calor, pequeñas caídas de presión, idoneidad para operación a vacío, altos ratios de evaporación, baja susceptibilidad de ensuciamiento y costes de operación mínimos.

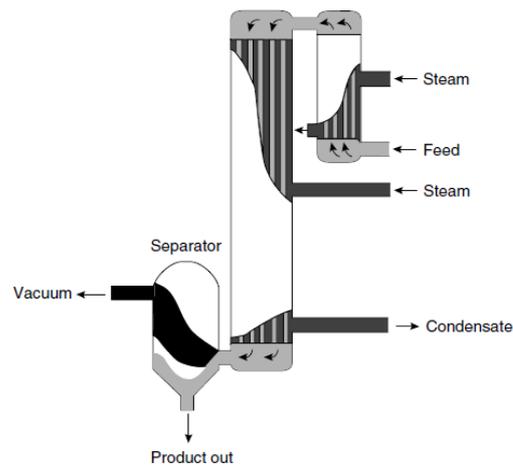


Figura 5.15. Evaporador de película descendente de efecto único.

#### 5.2.4.2. Concentración por membranas.

A continuación se describirán diferentes tecnologías de membrana, que pueden ser usadas tanto para microfiltración, como para ultrafiltración y ósmosis inversa.

- *Módulos tubulares de membranas*

Son ampliamente usados cuando es ventajoso el tener un régimen de flujo turbulento, por ejemplo, en la concentración de alimentación con alto nivel de sólidos. La membrana está montada dentro de un soporte poroso, que normalmente está alojado en un tubo perforado de acero inoxidable. Su principal desventaja es la relativa baja área de membrana contenida en un módulo y su alta retención volumétrica.

- *Módulos de membranas planas*

Son parecidos, en cierta manera, a las prensas de filtración convencional. Consiste en una serie de discos de membrana anulares de 0.3 m de diámetro interno, situados en ambos lados de unas placas de soporte de polisulfona, que también aporta canales a través de los que el permeado puede ser retirado. Los sándwiches de membrana y placas soporte están separados unos de otros por unas placas separadoras que tienen agujeros centrales y periféricos, a través de los cuales la alimentación de licor es direccionada hasta la superficie de la membrana (figura 5.16). El flujo es laminar.

5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

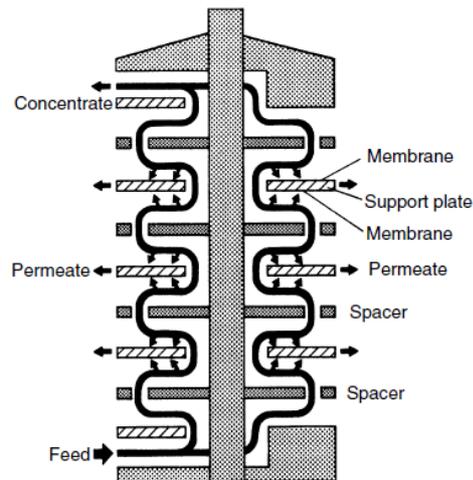


Figura 5.16. Diagrama esquemático de un módulo de membranas planas.

- Módulos de membrana en espiral

Consiste en varias membranas planas separadas por una malla promotora de turbulencia formando un *Swiss roll*, como se puede observar en la figura 5.17. Los bordes de las membranas están sellados unos con otros y a un tubo central perforado; esto produce un módulo cilíndrico que puede ser instalado dentro de un tubo de presión. La alimentación entra por uno de los lados del tubo de presión y se encuentra con multitud de membranas estrechas, creándose canales de alimentación entre membranas adyacentes. El permeado es recolectado a través del tubo central perforado.

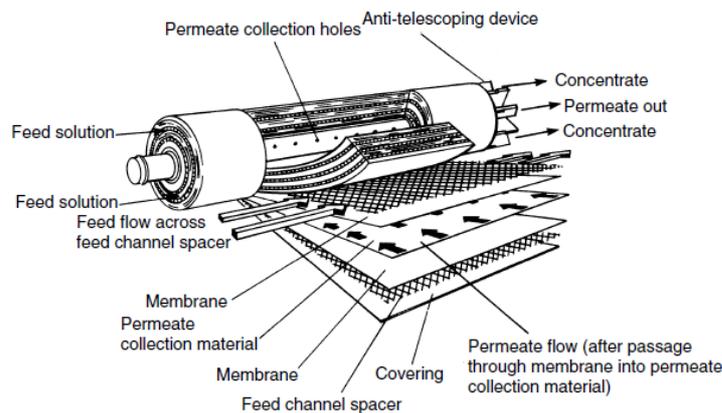
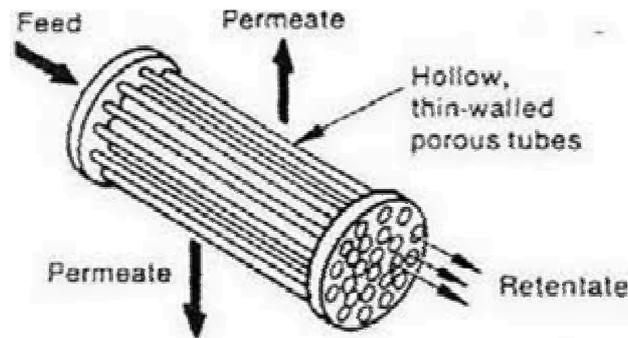


Figura 5.17. Diagrama esquemático de un módulo de membranas en espiral

- *Módulos de fibras huecas*

Consisten en un manojo de fibras finas (0.1-2.0 mm de diámetro) encerradas en un tubo, como se representa esquemáticamente en la *figura 5.18*. Esto resulta en unas unidades muy compactas capaces de operar a altas presiones, a pesar de que los canales para el flujo son muy estrechos y, por tanto, se ensucian fácilmente y son difíciles de limpiar. Un módulo típico para ultrafiltración contiene más de 3000 fibras de 1 m de largo.



*Figura 5.18. Diagrama esquemático de un módulo de fibras huecas*

*Selección del tipo concentrador del licor tánico*

Los evaporadores se descartan para esta aplicación, ya que someter los taninos a altas temperaturas durante tiempos muy prolongados podría suponer una degradación térmica de los mismos. Por lo tanto la tecnología más adecuada es la de membranas. A continuación en la *tabla 5.1* se exponen procesos de membrana y sus características.

Proceso	Fuerza impulsora	Rango tamaño separación	Ejemplos de materiales separados
Microfiltración	Gradiente presión	10-0.1 $\mu\text{m}$	Pequeñas partículas, grandes coloides, células microbianas
Ultrafiltración	Gradiente presión	<0.1 $\mu\text{m}$ -5 nm	Emulsiones, coloides, macromoléculas, proteínas
Nanofiltración	Gradiente presión	$\approx$ 1 nm	Sales disueltas, orgánicos
Ósmosis inversa	Gradiente presión	<1 nm	Sales disueltas y orgánicos pequeños
Electrodíálisis	Gradiente campo eléctrico	<5 nm	Sales disueltas
Diálisis	Gradiente de concentración	<5 nm	Tratamiento para fallo renal

*Tabla 5.1. Clasificación de diferentes tipos de membranas*

En nuestro caso, lo que se presente es concentrar una disolución acuosa que contiene taninos, es decir, unas macromoléculas orgánicas cuyos pesos moleculares oscilan entre 600 y 3000 kDa. En un estudio realizado por AIICA (Asociación de Investigación de las Industrias del Curtido y Anexas de España) D. Villanueva [12], proponen un sistema de ultrafiltración y nanofiltración para la concentración de los taninos, que a la vista de los datos que arroja la *tabla 5.1*, son aptos para la separación de moléculas orgánicas.

Por su parte, *Hasseb Nawaz et al. (2006) [4]* también proponen un sistema de ultrafiltración para la concentración de la disolución de taninos, concluyendo que una membrana de tamaño de poro de 0.22  $\mu\text{m}$  era la más apta para esta aplicación, ya que rechazaba moléculas en el rango de 1000 kDa de peso molecular.

De la misma manera, *Harri Niemi and Seppo Palosaari (1993) [13]* en su estudio sobre ultrafiltración de moléculas orgánicas, usaban la tecnología de fibras huecas, alcanzándose unos porcentajes de rechazo de soluto de entre el 95% y el 97%.

Por todo lo expuesto anteriormente, **tecnología ultrafiltración con membranas huecas** ha demostrado ser una tecnología adecuada para la concentración del licor tánico, ya que la utilización de nanofiltración iba a aumentar sólo en un 6% (del 14% al 20%) la concentración de taninos, requiriéndose para ello un consumo energético alto para generar la diferencia de presión necesaria para la correcta operación de la membrana de nanofiltración. Así mismo, la ultrafiltración ha sido usada favorablemente para la concentración de taninos, y da unos rechazos muy altos, por lo que apenas se perderá soluto en el proceso, y se encuentra dentro del rango de pesos moleculares apto para el uso de esta tecnología.

### 5.2.5. Resumen de la tecnología seleccionada

A modo de resumen, la *tabla 5.2* muestra el tipo de tecnología seleccionado para cada etapa del proceso.

Etapa del proceso	Tecnología seleccionada
Extracción	Extractor discontinuo de tanque agitado
Agitación mecánica	Agitador de tipo turbina
Separación pomada-disolvente	Centrífuga tubular de tazón
Concentración del licor tánico	Tecnología de ultrafiltración con membranas huecas

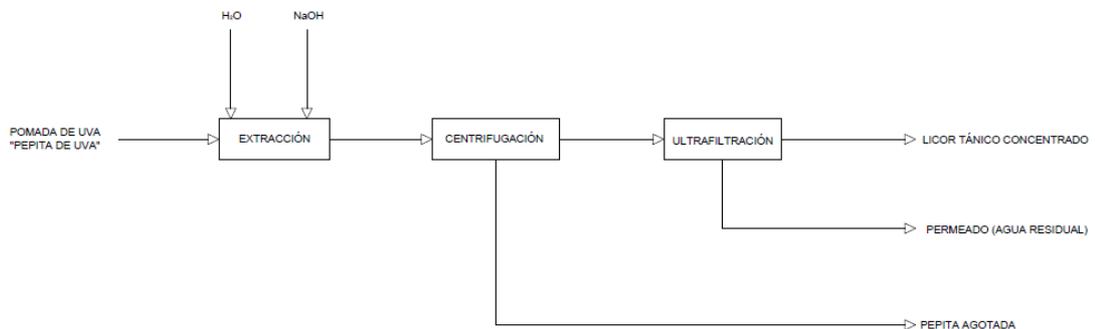
*Tabla 5.2. Resumen de la tecnología seleccionada para cada etapa del proceso.*



# 6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DIAGRAMA DE BLOQUES



El diagrama de bloques básico de la instalación se muestra en la *figura 6.1*, seguido por una breve descripción del proceso.



*Figura 6.1. Diagrama de bloques del proceso*

La pomada de uva procede de la industria vinícola, siendo un residuo resultante del proceso de vinificación. Esta pomada está formada por tallos, hollejos y mayoritariamente por pepita de uva triturada, desengrasada y secada. Llega a las instalaciones como un sólido finamente dividido (tamaño de partícula igual o inferior a 0.075 mm) y un contenido en humedad del 7.5% en peso.

La primera etapa del proceso será la **extracción** de los taninos contenidos en la pomada, para lo que se hará uso de un agente extractor (disolvente), que será, en este caso, una solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) al 15%, siendo la relación sólido-líquido de 1:8, que se le agregará a la pomada en el interior del extractor, y los taninos se transferirán desde el seno de la pomada de uva hasta el seno del disolvente.

Una vez que se ha llevado a cabo la extracción, los restos sólidos de la pomada de uva tienen que ser retirados, por lo que con un sistema de decantación centrífuga se retirará la mayor parte del sólido en suspensión.

De esta etapa de **centrifugación** saldrán dos corrientes, una de sólido prácticamente agotado en taninos y el disolvente que contiene los taninos. El líquido clarificado contiene algo de sólido de pomada de uva, disolvente y taninos, pero la concentración de los taninos es muy baja, por lo que requerirá de alguna etapa posterior para aumentar la concentración de taninos en la mezcla.

Para ello, este clarificado se llevará a unos sistemas de membranas por **ultrafiltración** que, debido a su configuración, rechazarán la mayor parte de las moléculas orgánicas (los taninos en nuestro proceso), resultando dos



corrientes: una de ellas será el rechazo consistente en una disolución acuosa concentrada en taninos en un 14%; la otra corriente será el permeado, compuesta mayoritariamente por agua y un pequeño porcentaje de taninos (0.8%) que ha conseguido pasar a través de la membrana.



# 7. BALANCES DE MATERIA Y DIAGRAMA DE FLUJO





## 7.1. Datos básicos del balance de materia

### 7.1.1. Datos balance materia extractor

Al extractor entra una pomada secada y desengrasada, conteniendo un 7.5% de humedad. Dicha pomada tiene un contenido de un **24.9% de taninos en base seca** según el estudio realizado por *Lan Ping et al. (2011) [3]*.

Este mismo estudio propone que la extracción se realice con una solución acuosa de compuestos que contienen sodio, resultando en nuestro caso que el mejor rendimiento se obtiene con una solución de hidróxido de sodio (NaOH). El **ratio sólido-líquido** se ha fijado en **1:8**, mientras que la cantidad de **hidróxido de sodio** será de un **15%** en peso basado en la cantidad en materia seca de pomada.

El **rendimiento** extraído del estudio de *Lan Ping et al. (2011) [3]* es de **56.1 mg de tanino/g de materia seca de pomada**, operando a una temperatura de **100°C** y con un tiempo de extracción de **120 min**. Con el mismo tiempo de extracción pero a una temperatura de 120°C se obtenía un rendimiento de 58.8 mg de taninos/g de materia seca de pomada, pero se ha preferido trabajar a 100°C ya que el aumento en el rendimiento era prácticamente insignificante, mientras que los costes energéticos asociados a aumentar la temperatura en 20°C son sustanciales.

El **extractor estará lleno en un 80% (40 L)** por seguridad y para dejar cierto espacio disponible por una posible formación de espumas, por lo que haciendo los cálculos pertinentes, y teniendo en cuenta las relaciones entre sólido-agua y sólido-NaOH, se operará con **4.56 kg de pomada en cada carga**.

### 7.1.2. Datos balance materia centrifugación

La centrífuga de tazón tubular, seleccionada para realizar la separación sólido líquido, alcanza **rendimientos del 90%** en la separación del sólido del líquido según *Coulson and Richardson, Vol.6 [11]*.

Se ha supuesto que la **pomada de uva** que se retira en la centrifugación tendrá un **contenido en agua del 20% en peso**, algo mayor que la pomada secada que entró al extractor, por tanto, el 80% del agua pasará a la siguiente etapa de filtración con membranas de ultrafiltración.

### 7.1.3. Datos balance materia membranas ultrafiltración

De acuerdo con el estudio realizado por *Harri Niemi and Seppo Palosaari (1993) [13]* y los cálculos realizados con las ecuaciones que proponen, el

**rechazo de la membrana es del 99%.** La justificación de este rechazo está realizada en el apartado de cálculos.

En el estudio realizado por AIICA (Asociación de Investigación de las Industrias del Curtido y Anexas de España), D. Villanueva [12], el sistema de ultrafiltración usado es capaz de llegar a una **concentración de taninos en base seca seca del 14% en peso.**

## 7.2. Cálculo de la densidad de la pomada

Al no contar con un dato exacto de la densidad de la pomada, se estimará a partir de su composición media. Se considera una pomada seca, desengrasada y con un diámetro de partícula como máximo de 0.075 mm. De acuerdo con *L.Istrati et al. (2007)* [14], la composición química de la pomada de uva reflejando sólo los componentes mayoritarios y recalculando los valores para una pomada previamente secada, se pueden observar en la *tabla 7.1*:

COMPONENTE	VALOR (%)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
Agua	7.5	1000
Celulosa	69.05	1440
Otros (principalmente azúcares)	23.45	1587

*Tabla 7.1. Cantidades y densidad de cada componente en la pomada tras secado.*

Con las densidades de estos componentes, y sabiendo los porcentajes se estimará la densidad. En el caso de los azúcares, se tomará la densidad del azúcar mayoritario, que es la fructosa. La fórmula usada para este cálculo es:

$$\rho_{total} = \frac{\sum_1^n m_i}{\sum_1^n V_i} = \frac{\sum_1^n m_i}{\sum_1^n m_i / \rho_i} \quad (\text{ecuación 7.1})$$

$\rho_{total}$  = densidad estimada la sustancia

$\rho_i$  = densidad de cada componente

$m_i$  = masa de cada componente

$V_i$  = volumen de cada componente

Siendo las densidades de los componentes las reflejadas en la *tabla 7.1*, y aplicando la *ecuación 7.1*, resulta:

$$\rho_{pomada} = 1423.94 \text{ kg/m}^3$$

### 7.3. Cálculo de la densidad de la mezcla pomada-disolvente

Para calcular la densidad de la mezcla se ha recurrido a calcularla con la ecuación 7.1. Para conocer la cantidad de cada componente en el interior del extractor se ha recurrido a usar diferentes proporciones, como que la altura de líquido es igual a un diámetro según sugiere *Coulson & Richardson, Vol.1 [15]*, el ratio sólido-líquido es 1:8 y la cantidad de hidróxido de sodio (NaOH) es un 15% (w/w) de la de sólido según *Lan Ping et al. (2011) [3]*. El resultado resultante tras aplicar estas proporciones se reflejan en la tabla 7.2:

COMPONENTE	VALOR (%)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
Agua	87.43	1000
Pomada	10.93	1423.94
Hidróxido sódico (NaOH)	1.64	2100

Tabla 7.2. Cantidades y densidad de cada componente en el extractor.

$$\rho_{mezcla}=1042.89 \text{ kg/m}^3$$

### 7.4. Datos de las cargas y balance materia

Para poder conocer el número de cargas diarias que se van a hacer, primeramente es necesario saber el tiempo de operación. Se ha estimado este **tiempo total de operación en 180 min**, resultante de la suma del tiempo de carga y descarga (30 min cada operación) y el tiempo de extracción del extractor (120 min). El resto de equipos trabajarían mientras el extractor está en funcionamiento o en acondicionamiento, por lo que el tiempo de operación del resto de equipos estaría incluido en este tiempo.

Se ha decidido operar durante **12 horas diarias**, en **dos turnos de 6 horas**, habiendo un operario trabajando en cada turno. Como cada carga se prolonga durante 3 horas, esto hace que se vayan a realizar **4 cargas/día**.

La planta operará durante **320 días al año**, que es el tiempo medio de trabajo descontando vacaciones, festivos, etc.

Con todos estos datos, se ha realizado el balance de materia. El resultado del balance a cada corriente se muestra en la *tabla 7.3*.

<b>Pomada uva/día</b>	<b>18,24 kg</b>
<b>Cargas/día</b>	<b>4</b>
<b>Pomada/carga</b>	<b>4,559 kg</b>
<b>Rendimiento global proceso</b>	<b>20,63 %</b>
<b>Rendimiento extracción</b>	<b>56,1 mg tanino/g pomada</b>

Corriente	1	2a	2b	3	4	5	6
De	Alim. Pomada	Alim. Agua	-	Alim. NaOH	TA-101	B-101	C-101
Hacia	TA-101	TA-101	TA-101	TA-101	B-101	C-101	IC-101
P, barg	0,00	0,00	2,00	0,00	0,30	2,00	2,00
Tª, °C	15,00	15,00	133,52	15,00	100,00	100,00	100,00
<b>Flujo, kg/día</b>							
Taninos	4,541	0,000	0,000	0,000	4,541	4,541	0,946
Agua	1,368	125,048	20,840	0,000	147,256	147,256	117,805
NaOH	0,000	0,000	0,000	2,530	2,530	2,530	2,024
Otros Sólidos	12,328	0,000	0,000	0,000	12,328	12,328	1,233
<b>Total</b>	<b>18,236</b>	<b>125,048</b>	<b>20,840</b>	<b>2,530</b>	<b>166,654</b>	<b>166,654</b>	<b>122,008</b>
<b>Compos. %peso</b>							
Taninos	24,900	0,000	0,000	0,000	2,725	2,725	0,776
Agua	7,500	100,000	100,000	0,000	88,360	88,360	96,555
NaOH 15%	0,000	0,000	0,000	100,000	1,518	1,518	1,659
Sólidos	67,600	0,000	0,000	0,000	7,397	7,397	1,010
<b>Total</b>	<b>100,000</b>						

Corriente	7	8	9	10	11	12
De	IC-101	T-101	B-102	UF-101	UF-101	UF-101
Hacia	T-101	B-102	UF-101	Alma. Tanino	Trat. Agua	Alma. Residuo
P, barg	2,00	0,00	2,00	1,50	0,00	2,00
Tª, °C	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	100,00
<b>Flujo, kg/día</b>						
Taninos	0,946	0,946	0,946	0,937	0,009	3,594
Agua	117,805	117,805	117,805	5,755	112,050	29,451
NaOH	2,024	2,024	2,024	0,000	2,024	0,506
Otros Sólidos	1,233	1,233	1,233	0,000	1,233	11,095
<b>Total</b>	<b>122,008</b>	<b>122,008</b>	<b>122,008</b>	<b>6,692</b>	<b>115,316</b>	<b>44,646</b>
<b>Compos. %peso</b>						
Taninos	0,776	0,776	0,776	14,000	0,008	8,051
Agua	96,555	96,555	96,555	86,000	97,167	65,965
NaOH 15%	1,659	1,659	1,659	0,000	1,755	1,133
Sólidos	1,010	1,010	1,010	0,000	1,069	24,850
<b>Total</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>

Tabla 7.3. Balances de materia y rendimiento del proceso.

## 7.5. Diagrama de flujo y descripción detallada.

### 7.5.1. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo del proceso puede consultarse en formato A3 en el apartado 15. Anexos en el Anexo I. *Diagramas*

### 7.5.2. Descripción detallada del diagrama de flujo

La **materia prima** de la cual se van a extraer los compuestos tánicos es la **pomada de uva**, la cual está formada por tallos, hollejos y mayoritariamente por pepita de uva. Esta pomada procede de un proceso anterior, que es la vinificación, y ha sido acondicionada, de tal manera que ha sido triturada, desengrasada y secada. Accede al proceso como sólido finamente dividido (tamaño de partícula igual o inferior a 0.075 mm) y un contenido en humedad del 7.5 % en peso.

La pomada de uva triturada, desengrasada y secada es introducida en la etapa de **extracción discontinua en un tanque agitado (TA-101)**, primera etapa del proceso, con una capacidad de 50 L. El volumen útil del extractor será 40 L. Para poder extraer los compuestos tánicos contenidos en la pomada, se tendrá que hacer uso de un agente extractor, que en este proceso es una disolución de agua e hidróxido sódico (NaOH). El disolvente y el hidróxido sódico tiene que añadirse con unas proporciones previamente especificadas, que en este caso son: el ratio pomada- agua es de 1:8 en peso; la relación pomada-hidróxido de sodio es del 15% en peso. El proceso se ha diseñado para tratar 4.56 kg de pomada, 31.26 kg de agua y 0.63 kg de NaOH en cada carga. Esta extracción tiene que llevarse a cabo a una temperatura de 100°C, por lo que el extractor está dotado de un sistema de inyección directa de vapor, que condensará en el interior del mismo, calentando la mezcla y aportando 5.21 kg de agua, que representa el resto del agua necesaria para la extracción. El tiempo de extracción se ha fijado en 120 min, obteniéndose un rendimiento de 56.1 mg de taninos/g materia seca de pomada de uva.

Transcurrido el tiempo necesario para la extracción, una bomba de desplazamiento positivo (B-101) es la encargada de impulsar la mezcla del extractor (pomada de uva y licor tánico) hacia la siguiente etapa, correspondiente a la separación sólido-líquido (separación pomada-licor tánico). La separación se realiza en un equipo de **centrifugación de tipo tazón tubular (C-101)**, el cual tiene un rendimiento del 90%. De la centrifuga salen

dos corrientes: la corriente de sólido ligeramente húmedo (pomada agotada), que será enviado a almacenamiento para su posterior venta; y la corriente de licor tánico, que pasará a las siguientes etapas del proceso.

El licor tánico procedente de la etapa de centrifugación está a alta temperatura, aproximadamente a una temperatura de 100°C, que es a la que se llevó a cabo la extracción. Esta corriente se acondiciona, para reducir su temperatura, en un **intercambiador de calor de tipo carcasa y tubos (IC-101)**, en el que el licor tánico se enfría desde una temperatura de 100°C a 40°C, empleando agua de refrigeración como líquido frío. Esta etapa es de vital importancia, ya que el licor tánico a alta temperatura podría dañar posteriores equipos del proceso.

El licor tánico enfriado proveniente del intercambiador, es almacenado en un **tanque de almacenamiento intermedio**. El motivo por el cual se almacena provisionalmente el licor tánico en este tanque es para poder controlar el flujo de licor que accede a la siguiente y última etapa del proceso, que será la etapa concentración.

Como el extracto obtenido presenta una concentración baja en taninos, es necesario concentrarlo para poder comercializar el producto final. El sistema seleccionado para la concentración es un **módulo de membranas de ultrafiltración (UF-101)**, en el cual entra el extracto diluido y se obtienen dos corrientes de salida: el rechazo y el permeado. El primero está constituido por el agua que no ha atravesado la membrana, las trazas de sólido que no se han podido retirar en las etapas previas y el producto principal del proceso, que son los taninos. Este rechazo es el licor tánico concentrado resultante del proceso, el cual contiene un 14% en peso en taninos, y que estaría ya preparado y acondicionado para su venta. El permeado está formado por agua residual que contiene pequeñas cantidad de materia orgánica e hidróxido sódico, por lo que será tratada biológicamente para eliminar estos contaminantes.



# 8. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL Y DESCRIPCIÓN DEL CONTROL





En este apartado se tratará el diagrama de instrumentación y control del proceso y se describirán brevemente las estructuras de control instaladas en éste y su principal función. La estrategia general de control seguida es la operación segura de la planta, así como seguir las consignas lo más fehacientemente posible. A continuación se describen los lazos principales de control de la planta.

### **8.1. Diagrama de instrumentación y control (P&ID).**

El diagrama de instrumentación y control del proceso puede consultarse en formato A3 en el apartado 15. Anexos en el Anexo I. *Diagramas*

### **8.2. Descripción de los lazos principales de control.**

#### **8.2.1. Control del extractor de tanque agitado (TA-101)**

El extractor de tanque agitado (TA-101) cuenta con diferentes lazos de control. Para que la extracción se desarrolle de la mejor manera posible, se ha instalado un sistema de control que calcula la cantidad de agua y de hidróxido de sodio que hay que añadir en función de la cantidad de pomada de uva añadida. De la misma manera, en función de la cantidad de materia prima y disolvente añadido, así como de la temperatura a la que estos se encuentran, hay un controlador que hace un cálculo de la cantidad de vapor que hay que agregar para completar la cantidad total de agua necesaria en la extracción, y para elevar la temperatura en el interior del extractor hasta la consigna de 100°C.

Con respecto a la operación segura del extractor, se han instalado unos switch de nivel alto y nivel bajo, para asegurar que el extractor no se va a desbordar y que no va a operar estando vacío. La presión en el interior se va a mostrar en un indicador de presión, para que si se detecta un aumento significativo de la presión, el operario pueda ejercer las acciones correctoras oportunas. También se ha instalado una válvula alivio de presión, que en caso de que la presión alcanzase valores que comprometiesen la estructura del extractor, aliviar la presión con esta válvula.

El control propuesto es un control para procesos discontinuos, el cual está controlado por un controlador lógico programable (PLC) UC-01, que contiene la secuencia de etapas a seguir para la correcta operación del extractor-

### **8.2.2. Control del intercambiador de calor (IC-101)**

El intercambiador de calor IC-101 cuenta con un sistema de control en cascada, el cual actúa de manera que mide la temperatura a la que está saliendo el fluido a enfriar. Esta señal de temperatura se envía a un controlador de temperatura, que a su vez manda la señal calculada a un control de flujo, el cual recoge la consigna impuesta por el controlador de temperatura y el valor actual del flujo del transmisor del flujo, y actúa sobre una válvula de control para regular el flujo de agua de refrigeración que accede al intercambiador. De esta manera se asegura que la temperatura del licor tánico se mantenga siempre lo más cercana posible a la consigna de 40°C y así no produzca daños a los siguientes equipos, los cuales no son capaces de soportar altas temperaturas.

### **8.2.3. Control del módulo de membranas (UF-101)**

El módulo de membranas de ultrafiltración UF-101 cuenta con un sistema de control en feedback, que está midiendo la concentración del rechazo (licor tánico concentrado), y está calculando la acción correctora que hay que efectuar sobre el caudal de entrada a la membrana, para que la concentración del rechazo sea la deseada. Se ha decidido operar de esta manera, ya que en las membranas de ultrafiltración, el flujo a la entrada es muy influyente sobre el flujo de permeado, y por ende en el de rechazo.

El módulo también cuenta con un control en cascada, el cual calcula la presión a la que el licor tánico debe acceder a las membranas de ultrafiltración en función de la concentración que tiene. Este lazo de control se ha implementado de esta manera debido a que el flujo de permeado está directamente relacionado con la diferencia de presión en las membranas, por lo que modificando la presión a la que accede el licor tánico, podremos controlar el flujo de permeado, y por consiguiente, el flujo de rechazo, o lo que es lo mismo, la composición del rechazo. La presión a la que entra el licor tánico es controlada modificando el régimen de operación de la bomba centrífuga.

También está provisto este módulo de un indicador de presión diferencial, que indicará el valor de la caída de presión en el interior de las membranas, y en función de este valor, se determinará si las membranas están operando correctamente o necesitan ser limpiadas.



### 8.2.4. Listado de lazos de control e instrumentación

LISTA DE LAZOS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN						
REV.	0				TRABAJO NÚM#	1
FECHA	29/06/2015				UNIDAD	EXTRACCIÓN TANINOS
POR	APP				CLIENTE	UVA
APPR'V					LOCALIZACIÓN	VALLADOLID
REV.	Nº ITEM	P&ID Nº	SERVICIO			NOTAS
1	FT-100	1	TRANSMISOR FLUJO 1			
2	FC-101	1	CONTROLADOR DE FLUJO 2a			
3	FT-101	1	TRANSMISOR DE FLUJO 2a			
4	FV-101	1	VÁLVULA CONTROL FLUJO 2a			
5	FY-101	1	CÁLCULO FLUJO 2a			
6	FC-102	1	CONTROLADOR DE FLUJO 3			
7	FT-102	1	TRANSMISOR DE FLUJO 3			
8	FV-102	1	VÁLVULA CONTROL FLUJO 3			
9	FY-101	1	CÁLCULO FLUJO 3			
10	TT-103	1	TRANSMISOR TEMPERATURA TA-101			
11	TY-103	1	CÁLCULO TEMPERATURA TA-101			
12	TIC-103	1	CONTROLADOR E INDICADOR TEMPERATURA TA-101			
13	TV-103	1	VÁLVULA CONTROL TEMPERATURA TA-101			
14	TSH-103	1	SWITCH TEMPERATURA ALTA TA-101			
15	FAL-103	1	ALARMA FLUJO BAJO 2b			
16	PAH-103	1	ALARMA PRESIÓN ALTA 2b			
17	UC-01	1	PLC CONTROL EXTRACCIÓN			
18	LSH-104	1	SWITCH NIVEL ALTO TA-101			
19	LSL-104	1	SWITCH NIVEL BAJO TA-101			
20	XV-104	1	VÁLVULA ON/OFF 4			
21	PI-105	1	INDICADOR PRESIÓN TA-101			
22	UC-02	1	PLC CONTROL B-101			
23	PI-106	1	INDICADOR PRESIÓN 5			
24	TT-107	1	TRANSMISOR TEMPERATURA 7			
25	TC-107	1	CONTROLADOR TEMPERATURA			
26	FT-107	1	TRANSMISOR FLUJO AGUA REFRIGERACIÓN			
27	FC-101	1	CONTROLADOR FLUJO AGUA REFRIGERACIÓN			
28	FV-107	1	VÁLVULA CONTROL FLUJO AGUA REFRIGERACIÓN			
29	LSL-109	1	SWITCH NIVEL BAJO T-101			
30	XV-109	1	VÁLVULA ON/OFF 8			
31	AT-110	1	TRANSMISOR COMPOSICIÓN 8			
32	AC-110	1	CONTROLADOR COMPOSICIÓN 8			
33	PT-110	1	TRANSMISOR PRESIÓN 9			
34	PC-110	1	CONTROLADOR PRESIÓN 9			
35	FT-111	1	TRANSMISOR FLUJO 9			
36	FV-111	1	VÁLVULA CONTROL FLUJO 9			
37	AT-112	1	TRANSMISOR COMPOSICIÓN 10			
38	AC-112	1	CONTROLADOR COMPOSICIÓN 10			
39	FT-112	1	TRANSMISOR FLUJO 9			
40	FC-112	1	CONTROLADOR FLUJO 9			
41	FV-112	1	VÁLVULA CONTROL FLUJO 9			
42	PDI-112	1	INDICADOR PRESIÓN DIFERENCIAL UF-101			





# 9. DIMENSIONADO DE EQUIPOS





## 9.1. Extractor discontinuo de tanque agitado (TA-101)

### 9.1.1. Cálculo de las dimensiones del extractor de tanque agitado

El extractor es un tanque cilíndrico agitado, por lo que las dimensiones a calcular serán su altura y su diámetro. Para ello hay que fijar un volumen de extractor y una relación altura/diámetro.

Respecto al volumen del extractor se toma como base que los extractores a escala piloto de laboratorio tienen una capacidad de entre 25 y 50 L. Dentro de este rango típico, se ha seleccionado un volumen de extractor de 50 L.

El tanque va a ser más alto que ancho siguiendo los consejos de diseño dados por *Coulson & Richardson, Vol. 6 [11]*, siendo una relación típica altura/diámetro de entre 1.5 y 2. En este caso la relación L/D seleccionada es de 1.5.

La ecuación para el cálculo de estos parámetros son:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \quad (\text{ecuación 9.1})$$

*V = volumen extractor*

*D = diámetro del extractor*

*L = altura del extractor*

Poniéndolo en función de L/D y despejando el diámetro, se obtiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot L/D}} \quad (\text{ecuación 9.2})$$

Sustituyendo valores, resulta:

$$D = 0.35 \text{ m}$$

$$L = 0.52 \text{ m}$$

### 9.1.2. Cálculo de la potencia de agitación

La potencia de agitación se calculará por el método propuesto por *Coulson & Richardson. Vol. 6 [11]*, mediante las gráficas que relacionan el número de Reynolds y el número de potencia.

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D_a^2}{\mu}$$

(ecuación 9.3)

$$Np = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D_a^5}$$

(ecuación 9.4)

*Re* = número de Reynolds  
*Np* = número de potencia  
 $\rho$  = densidad de la mezcla  
*N* = velocidad rotación del agitador  
*D<sub>a</sub>* = diámetro del agitador  
 $\mu$  = viscosidad de la mezcla

Como se observa en estas ecuaciones, es necesario saber tanto la densidad como la viscosidad de la mezcla, así como las dimensiones del agitador y la velocidad de agitación.

La densidad de la mezcla es de  $\rho_{mezcla}=1042.89 \text{ kg/m}^3$ . La viscosidad de la mezcla se ha supuesto como la del agua (ya que es el componente mayoritario, representando el 88% del total de la mezcla) a una temperatura de 100°C, que es la temperatura a la que operará el extractor, esta viscosidad es  $\mu_{agua}(100^\circ\text{C})= 0.282 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$ .

En relación con el tamaño del agitador, se ha tomado la relación de 1/3 entre el diámetro del agitador y el diámetro del tanque basándonos en el criterio dado por *Coulson & Richardson [2]*, siendo el diámetro del agitador por lo tanto  $D_a=0.11 \text{ m}$ . La velocidad de giro del agitador para fluidos poco viscosos como, es el caso, se propone en *Coulson & Richardson [2]* que esté en el intervalo 10-25 Hz, siendo la velocidad elegida de 13 Hz.

Introduciendo todos estos datos en la ecuación 9.3, resulta:

$$Re= 6.54 \cdot 10^5$$

Para turbinas, la gráfica que *Coulson & Richardson, Vol. 6 [11]* proporciona se muestra en la figura 9.1:

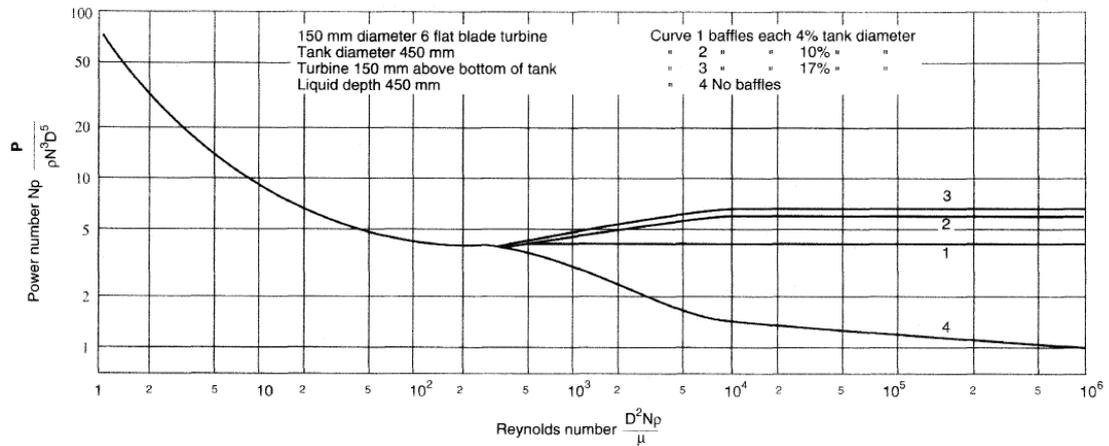


Figura 9.1. Número de potencia en función del número de Reynolds para un mezclador de turbina.

Entrando por el eje de abscisas con el valor del número de Reynolds calculado anteriormente, llegando hasta la línea 4 (no baffles), se lee un valor en el eje de ordenadas de 1 para el número de potencia ( $N_p$ ), despejando la potencia de la ecuación 9.4 y sustituyendo valores, se obtiene:

$$P=49.5 \text{ W}$$

### 9.1.3. Cálculo de la cantidad de vapor a inyectar en el extractor para su calentamiento.

El extractor opera a una temperatura de  $100^\circ\text{C}$ , por lo que tanto la materia prima como el disolvente tendrán que ser calentados hasta esta temperatura. El sistema de calentamiento elegido es la inyección directa de vapor a presión.

Primeramente habrá que calcular la cantidad de energía (calor) necesaria para calentar la masa de cada carga. Esto se calcularía como:

$$Q_{necesario} = m_{mezcla} \cdot c_{p \text{ mezcla}} \cdot \Delta T \quad (\text{ecuación 9.5})$$

$Q_{necesario}$  = calor necesario para el calentamiento

$m_{mezcla}$  = masa de la mezcla

$c_{p \text{ mezcla}}$  = calor específico de la mezcla

$\Delta T$  = diferencia de temperatura,  $T_{final} - T_{inicial}$

Hay que tener en cuenta que se va a inyectar vapor a una presión de 3 bar, por lo que condensará convirtiéndose en agua líquida, por lo que habrá que restarle esta agua que se va a aportar mediante la condensación del vapor:

$$m_{mezcla} = m_{pomada} + m_{NaOH} + m_{agua\ total} - m_{vapor} \quad (\text{ecuación 9.6})$$

El calor necesario para calentar la mezcla deberá ser el mismo que el aportado por el vapor en su condensación y enfriamiento hasta la temperatura de operación:

$$Q_{necesario} = Q_{vapor} \quad (\text{ecuación 9.7})$$

$$Q_{vapor} = m_{vapor} \cdot (\Delta H_{condensación} + c_{p\ agua} \cdot (T_{burbuja} - T_{operación})) \quad (\text{ecuación 9.8})$$

$Q_{vapor}$  = calor que aporta el vapor

$m_{vapor}$  = masa de vapor

$\Delta H_{condensación}$  = calor latente de condensación del vapor

$c_{p\ agua}$  = calor específico del agua

$T_{burbuja}$  = temperatura de burbuja del vapor

$T_{operación}$  = temperatura de operación del extractor

Estos son los balances de energía necesarios para el cálculo de la masa de vapor necesaria que hay que calcular para cada carga. Si introducimos la ecuación 9.6 en la ecuación 9.5, y resolvemos numéricamente esta ecuación resultante junto con la ecuación 9.8, con la condición de la ecuación 9.7 obtendremos la masa de vapor necesaria para calentar la mezcla del extractor.

Los datos conocidos del sistema son:

PARÁMETRO	VALOR
$T_{inicial\ mezcla}$	15 °C
$T_{operación}$	100 °C
$C_p\ mezcla$	3871,92 J/kg·K
$m_{pomada}$	4.56 kg
$m_{agua\ total}$	36.47 kg
$m_{NaOH}$	0.63 kg
$\Delta H_{condensación}$	2162.15 kJ/kg
$C_p\ agua$	4200 J/kg·K
$T_{burbuja\ (3\ bar)}$	133.52 °C

La resolución de las ecuaciones citadas anteriormente con estos datos resulta en:

$$m_{\text{vapor}} = 5.21 \text{ kg/carga}$$

Como al día se hacen 4 cargas, la necesidad de vapor necesaria al día sería:

$$m_{\text{vapor día}} \approx 21 \text{ kg/día}$$

#### 9.1.4. Diseño mecánico del extractor

La forma y dimensiones del extractor se muestran en la *figura 9.2*. Para el diseño mecánico del extractor se ha utilizado *Coulson and Richardson. Vol. 6 [11]*, el cual sigue la normativa British Standard PD5500.

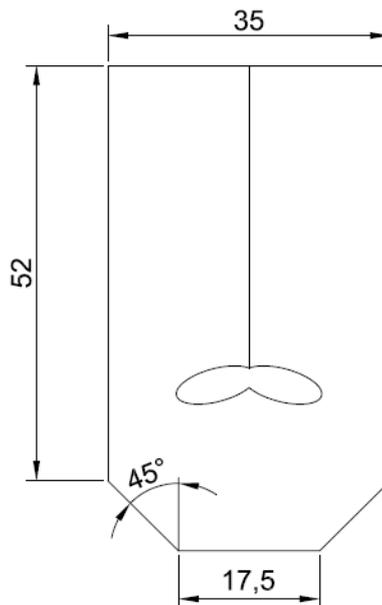


Figura 9.2. Extractor y sus dimensiones expresadas en cm.

El diseño mecánico consistirá en dar los espesores de pared que deben tener tanto el cuerpo cilíndrico del recipiente a presión, como sus cierres superior e inferior. La normativa recoge unas fórmulas para el cálculo de estos espesores, pero al resultado de este espesor habrá que sumarle un **sobreespesor por corrosión**, que toma el valor típico de **2 mm** para sistemas en los que no se espera mucha corrosión.

Para hacer este cálculo mecánico, es necesario conocer tanto la presión como la temperatura de diseño. La **presión** a la que opera el sistema es de 2 bar, a la que se le aplicará un **factor de seguridad de un 10%**. Respecto a la **temperatura**, se tomará un **factor de seguridad de 20°C**, siendo la temperatura de operación de 100°C.

$$P_{\text{diseño}} = 1.1 \cdot P_{\text{operación}} = 1.1 \text{ barg} = \mathbf{0.11 \text{ N/mm}^2}$$

$$T_{\text{diseño}} = T_{\text{operación}} + 20^\circ\text{C} = \mathbf{120^\circ\text{C}}$$

### ***Cálculo espesor parte cilíndrica del extractor***

La fórmula para el cálculo del espesor de la parte cilíndrica es la siguiente:

$$e = \frac{P_i \cdot D_i}{2 \cdot f - P_i}$$

(ecuación 9.9)

*e = espesor de la pared*

*P<sub>i</sub> = presión de diseño*

*D<sub>i</sub> = diámetro interno del extractor*

*f = tensión de diseño a la temperatura de operación*

Se cuentan con todos los datos excepto de la tensión de diseño (f). Para obtener el valor de este parámetro se ha recurrido a la *tabla 9.1*, donde se expresan los valores que toma f en función del tipo de material y la temperatura a la que se está diseñado.

A la vista de esta tabla, y escogiendo acero inoxidable 18Cr/8Ni sin estabilizar como material de construcción de nuestro extractor, el valor de f para 150°C (temperatura inmediatamente superior a nuestra temperatura de operación) es:

$$f = \mathbf{130 \text{ N/mm}^2}$$

Material	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Design stress at temperature °C (N/mm <sup>2</sup> )										
		0 to 50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
Carbon steel (semi-killed or silicon killed)	360	135	125	115	105	95	85	80	70			
Carbon-manganese steel (semi-killed or silicon killed)	460	180	170	150	140	130	115	105	100			
Carbon-molybdenum steel, 0.5 per cent Mo	450	180	170	145	140	130	120	110	110			
Low alloy steel (Ni, Cr, Mo, V)	550	240	240	240	240	240	235	230	220	190	170	
Stainless steel 18Cr/8Ni unstabilised (304)	510	165	145	130	115	110	105	100	100	95	90	
Stainless steel 18Cr/8Ni Ti stabilised (321)	540	165	150	140	135	130	130	125	120	120	115	
Stainless steel 18Cr/8Ni Mo 2½ per cent (316)	520	175	150	135	120	115	110	105	105	100	95	

Tabla 9.1. Tensión de diseño para diferentes materiales y diferentes temperaturas de operación.

Ya se cuentan con todos los datos suficientes para el cálculo del espesor de la parte cilíndrica con la ecuación 1.5, a lo que habría que añadirle 2 mm por el sobreespesor por corrosión. El resultado sería:

$$e = 2.15 \text{ mm}$$

La normativa aconseja unos espesores de pared mínimos, que para el caso de recipientes de 1 m o menores es de 5mm. Como el valor calculado es menor a este, se tomará este valor mínimo, por tanto:

$$e_{\text{parte cilíndrica}} = 5 \text{ mm}$$

### ***Cálculo espesor del cierre superior del extractor***

Para el cierre superior del extractor se ha seleccionado un cierre de tipo plano denominado “Flange-only”, ya que son baratos de construir y están indicados para recipientes con diámetros pequeños y sometidos a presiones bajas, como es el caso. La fórmula general para el cálculo del espesor del cierre de tipo plano es la siguiente:

$$e = C_p \cdot D_e \cdot \sqrt{\frac{P_i}{f}} \quad (\text{ecuación 9.10})$$

$$\begin{aligned}
 e &= \text{espesor de la pared} \\
 C_p &= \text{constante de diseño} \\
 P_i &= \text{presión de diseño} \\
 D_e &= \text{diámetro nominal del plato} \\
 f &= \text{tensión de diseño a la temperatura de operación}
 \end{aligned}$$

Para el caso del cierre tipo “Flange-only”, la constante de diseño y el diámetro nominal del plato toman los valores de:

$$C_p = 0.45$$

$$D_e = D_i \text{ (diámetro interno del extractor)}$$

Con todos estos datos, y teniendo en cuenta que hay que añadir un sobreespesor por corrosión de 2 mm, el espesor del cierre superior será:

$$e_{\text{cierre superior}} = 6.6 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

#### ***Cálculo espesor del cierre inferior del extractor.***

Para el cierre inferior se ha escogido un cierre con forma troncocónica, ya que al tener sólidos dentro del extractor, este tipo de cierre inferior facilitará el vaciado. La fórmula para el cálculo del espesor se muestra a continuación:

$$e = \frac{C_c \cdot P_i \cdot D_c}{2 \cdot f \cdot J - P_i} \quad (\text{ecuación 9.11})$$

$$\begin{aligned}
 e &= \text{espesor de la pared} \\
 C_c &= \text{factor de diseño} \\
 P_i &= \text{presión de diseño} \\
 D_c &= \text{diámetro inferior parte cónica del extractor} \\
 f &= \text{tensión de diseño a la temperatura de operación} \\
 J &= \text{factor de junta}
 \end{aligned}$$

El factor de junta  $J=1$  ya que la parte troncocónica se hará por presión, no existiendo juntas.

Respecto al factor de diseño, será función del ángulo  $\alpha$ , mostrándose en la *tabla 9.2* los valores que toma  $C_c$ .



$\alpha$	20°	30°	45°	60°
$C_c$	1.00	1.35	2.05	3.20

Tabla 9.2. Factor de diseño para cierre cónico en función del ángulo  $\alpha$ .

A la vista de la *figura 9.2*, en ángulo toma un valor de  $\alpha=45^\circ$ , por lo que el factor de diseño tomará un valor de:

$$C_c = 2.05$$

Así mismo, el valor de  $D_c$  viene representado en la *figura 9.2*, siendo  $D_c = 175$  mm.

Ya se cuenta con todos los datos necesarios para el cálculo del espesor del cierre inferior. Al valor calculado con la *ecuación 9.11* habrá que sumarle un sobreespesor por corrosión de 2 mm. El resultado es:

$$e = 2.15 \text{ mm}$$

La normativa recomienda que para recipientes de 1 m de diámetro o menos, el espesor mínimo de su pared sea de 5 mm, por lo que se tomará este valor mínimo.

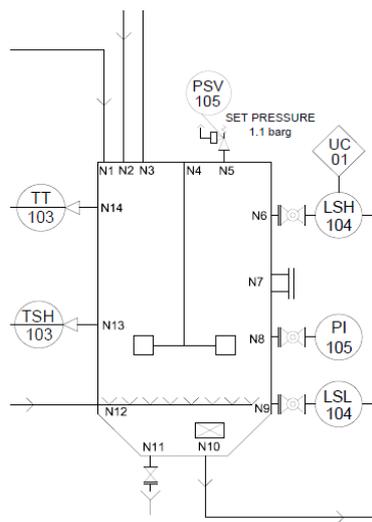
$$e_{\text{cierre inferior}} = 5 \text{ mm}$$

9. DIMENSIONADO DE EQUIPOS

## TANQUE AGITADO-HOJAS DE ESPECIFICACIONES

REV.	1			TRABAJO N°	1
FECHA	24/06/2015			UNIDAD	EXTRACTOR TANQUE AGITADO
POR	APP			CLIENTE	UVA
APPR'V				LOCALIZACIÓN	VALLADOLID

REV.	ITEM N°: TA-101				Cantidad:	1
2	Servicio: EXTRACCIÓN DE TANINOS					
3	Fluido: AGUA					
4	Volumen 0,05 m <sup>3</sup>					
5	Diámetro (ID) 350 mm		Altura (TL-TL) 520 mm			
6	Horizontal or Vertical VERTICAL					
7	Demister Δ P bar Espesor mm					
8						
9			PRESIÓN bar g		TEMPERATURA °C	
10			Operac. Diseño		Operac. Diseño	
11	Carcasa		1 1.1		100 120	
12	Encamisado					
13	Serpentín					
14						
15			MATERIAL		SOBREESP. CORROS.	
16	Carcasa		SS 18Cr/8Ni <sup>(1)</sup>		2 mm	
17	Cerr. Superior		SS 18Cr/8Ni <sup>(1)</sup>		2 mm	
18	Encamisado				mm	
19	Serpentín				mm	
20	Cerr. Inferior		SS 18Cr/8Ni <sup>(1)</sup>		2 mm	
21						
22	Revestimiento interior		Espesor:		mm	
23	Tipo cabeza FLANGE-ONLY (PLANA)					
24	Código British Standard PD5500					
25	Altura líquido 415 mm					
26	Gravedad Específica 1,043		@ 100 °C			
27	Condic. salida vapor 1,1 bar g		@ 133,5 °C			
28	Alivio presión por razones proceso					
29	Elevación mínima (BTL to Grade) 165 mm					
30	Aislamiento: Tipo Lana de vidrio					
31	Espesor 110 mm					
32	Radiografía					
33						
34	BOQUILLAS					
35	Mark N°	Cantidad	Tamaño	Servicio		
36	N1	1	2"	Entrada po mada		
37	N2	1	2"	Entrada agua		
38	N3	1	1/2"	Entrada NaOH		
39	N4	1	1/2"	Agitador		
40	N5	1	2"	Válvula alivio presión		
41	N6	1	1/2"	Switch nivel alto		
42	N7	1	5"	Agujero para mano		
43	N8	1	1/2"	Indicador presión		
44	N9	1	1/2"	Switch nivel bajo		
45	N10	1	2"	Salida mezcla		
46	N11	1	1 1/2"	Drenaje		
47	N12	1	2"	Entrada vapor		
48	N13	1	1/2"	Switch temperatura alta		
49	N14	1	1/2"	Transmisor de temperatura		
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						



NOTAS	
(1) A	cero inoxidable 18Cr/8Ni
El tanque está provisto de un sistema de agitación.	

## 9.2. Cálculo del intercambiador de calor (enfriador previo al módulo de membranas) (IC-101)

El licor tánico que sale de la etapa de centrifugación se encuentra a alta temperatura, por lo que deberá ser enfriado para poder acceder al módulo de membranas, ya que estas membranas no soportan temperaturas tan altas.

El primer paso para el diseño del intercambiador es fijar las condiciones de entrada y de salida, tanto del licor tánico como del refrigerante (que es agua), así como sus propiedades físicas y decidir quién circula por carcasa y quien por tubos. El fluido más viscoso circulará por carcasa y el menos viscoso por el interior de los tubos. Estos datos se muestran a continuación:

	Licor tánico	Agua refrigeración
<b>Lado circulación</b>	Tubos	Carcasa
<b>T<sub>entrada</sub></b>	100 °C	15 °C
<b>T<sub>salida</sub></b>	40 °C	45 °C
<b>Densidad (<math>\rho</math>)</b>	971,88 kg/m <sup>3</sup>	982 kg/m <sup>3</sup>
<b>Viscosidad (<math>\mu</math>)</b>	0,0003544 kg/m·s	0,0007259 kg/m·s
<b>Conductividad (k)</b>	0,67012 W/m·K	0,632375 W/m·K
<b>Calor específico (<math>c_p</math>)</b>	4196,3 J/kg·K	4197 J/kg·K

Una vez conocidos estos datos de partida, se procederá al cálculo de un intercambiador de carcasa y tubos según el método propuesto por *Coulson and Richardson, Vol. 6 [11]*. Este método va calculando una serie de parámetros según se va a exponer a continuación.

En primer lugar, se ha de calcular el calor necesario que hay que retirar a la corriente de licor tánico. Una vez conocido este calor a retirar, se podrá calcular el flujo de refrigerante necesario, para ello se utilizan las siguientes ecuaciones de balance de energía:

$$\dot{Q}_{retirar} = \dot{m}_{licor} \cdot c_{p\ licor} \cdot (T_e - T_s) \quad (\text{ecuación 9.12})$$

$\dot{Q}_{retirar}$  = calor que es necesario retirar a la corriente de entrada

$\dot{m}_{licor}$  = flujo másico del licor tánico

$c_{p\ licor}$  = calor específico del licor tánico

$T_e$  = temperatura entrada del licor tánico

$T_s$  = temperatura salida del licor tánico

$$\dot{Q}_{retirar} = \dot{Q}_{refrigerante} \quad (\text{ecuación 9.13})$$

$$\dot{Q}_{refrigerante} = \dot{m}_{ref} \cdot c_{p\ ref} \cdot (T_{sr} - T_{er}) \quad (\text{ecuación 9.14})$$

$\dot{Q}_{refrigerante}$  = calor que ha de retirar el refrigerante

$\dot{m}_{ref}$  = flujo másico del refrigerante

$c_{p\ ref}$  = calor específico del refrigerante

$T_{sr}$  = temperatura de salida del refrigerante

$T_{er}$  = temperatura de entrada del refrigerante

A partir de estas ecuaciones 9.12, 9.13 y 9.14, junto con los datos conocidos de condiciones de entrada y propiedades físicas del licor tánico y del refrigerante, se calcula el flujo de refrigerante necesario, resultando:

$\dot{m}_{licor}$	0,25 kg/s
$q_{licor}$	0,00027 m <sup>3</sup> /s
$\dot{Q}_{licor} = \dot{Q}_{ref}$	63997,77 J/s
$\dot{m}_{ref}$	0,51 kg/s

A continuación hay que calcular la temperatura media logarítmica:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \quad (\text{ecuación 9.15})$$

$\Delta T_{lm}$  = temperatura media logarítmica

$T_1$  = temperatura de entrada del fluido caliente

$T_2$  = temperatura de salida del fluido caliente

$t_1$  = temperatura de entrada del fluido frío

$t_2$  = temperatura de salida del fluido frío

La manera más usual de diseño de intercambiadores de calor de carcasa y tubos es calculando la “verdadera diferencia de temperatura” aplicando un factor de corrección  $F_1$  a la temperatura media logarítmica.

$$\Delta T_m = F_1 \cdot \Delta T_{lm} \quad (\text{ecuación 9.16})$$

$$\Delta T_m = \text{diferencia de temperatura real}$$
$$F_1 = \text{factor de corrección de temperatura}$$

Para calcular este factor de corrección de temperatura, se utilizan dos ratios, denominados R y S:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

(ecuación 9.17)

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

(ecuación 9.18)

Con estos dos ratios y la *gráfica 1 del Anexo II* se puede saber el factor de corrección de temperatura ( $F_1$ ).

Tras conocer estos parámetros, se podrá comenzar a calcular el diseño del intercambiador de calor. Para ello se va a exponer a continuación la serie de pasos a seguir, que por claridad en la exposición, se pondrán todas las ecuaciones de diseño seguidas, y a continuación un glosario con la simbología y su significado:

Ecuación de diseño para flujo de calor a través de una superficie

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m$$

(ecuación 9.19)

Número de tubos en la bancada del cambiador

$$n_t = \frac{S}{\pi \cdot d_0 \cdot L}$$

(ecuación 9.20)

Velocidad por el interior de los tubos

$$v_t = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{d_i^2}{4} \cdot n_{pasos}}$$

(ecuación 9.21)

Diámetro de la bancada de tubos

$$D_b = d_0 \cdot \left(\frac{n_t}{k_1}\right)^{\frac{1}{n_1}}$$

(ecuación 9.22)

Paso por tubo

$$P_t = 1.25 \cdot d_0$$

(ecuación 9.23)

Diámetro de la carcasa

$$D_s = D_b + H$$

(ecuación 9.24)

Espaciado entre placas deflectoras

$$l_b = 0.1 \cdot D_s$$

(ecuación 9.25)

Área máxima perpendicular al flujo

$$A_s = D_s \cdot l_b \cdot \frac{(P_t - d_0)}{P_t}$$

(ecuación 9.26)

Densidad de flujo másico

$$G'_s = \frac{G}{A_s}$$

(ecuación 9.27)

Velocidad del fluido por la carcasa

$$u_{carcasa} = \frac{G'_s}{\rho}$$

(ecuación 9.28)

Diámetro equivalente de la carcasa (distribución cuadrada)

$$d_e = \frac{1.27}{d_0} (P_t^2 - 0.785 \cdot d_0^2)$$

(ecuación 9.29)

Número de Reynolds

$$Re = \frac{u \cdot \rho \cdot d}{\mu}$$

(ecuación 9.30)

Número de Prandt

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k}$$

(ecuación 9.31)

Número de Nusell para fluidos no viscosos lado de los tubos

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3}$$

(ecuación 9.32)

Coefficiente individual de transmisión de calor lado tubos

$$Nu = \frac{h_i \cdot d_i}{k}$$

(ecuación 9.33)

Número de Nusell para fluidos no viscosos lado de los tubos

$$Nu = j_h \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3}$$

(ecuación 9.34)

Coefficiente individual de transmisión de calor lado carcasa

$$Nu = \frac{h_0 \cdot d_e}{k}$$

(ecuación 9.35)

Ecuación general de transmisión de calor

$$\frac{1}{U_0} = \frac{d_0}{d_i \cdot h_i} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{1}{h_0} + \frac{d_0}{d_i \cdot h_{id}} + \frac{1}{h_{0d}} \quad (\text{ecuación 9.36})$$

Método Kern para caída de presión den la carcasa

$$\Delta P_s = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e}\right) \left(\frac{L}{l_b}\right) \frac{\rho \cdot u_{carcasa}^2}{2} \quad (\text{ecuación 9.37})$$

Una vez expuestas todas las ecuaciones, se va a dar una breve explicación de la manera de proceder con el cálculo. El método requiere inicialmente la suposición del coeficiente global de transmisión de calor, para ello se tiene en cuenta el rango de valores típicos de [700-1000] W/m<sup>2</sup>·°C para prácticamente agua como fluido caliente y agua como fluido frío refrigerante.

Con esta suposición ya se puede calcular el área necesaria, el número de tubos (previa selección de un diámetro y longitud de tubo normalizados) y la velocidad por los tubos (previa decisión del número de pasos de tubos) usando las ecuaciones 9.19, 9.20 y 9.21 respectivamente.

Con la ecuación 9.22 se calcula el diámetro de la bancada de tubos. Para ello se utiliza la *tabla 1 del Anexo II* en la que con una distribución cuadrada y con el número de pasos por tubos seleccionado, se obtienen los parámetros  $k_1$  y  $n_1$ .

La ecuación 9.23 sirve para calcular un parámetro denominado paso por tubo, y a continuación podremos calcular el diámetro de la carcasa, utilizando en este caso la *gráfica 2 del Anexo II* y con la línea denominada “outside packed head”, se puede determinar la holgura (H).

Con las ecuaciones 9.24, 9.25, 9.26, 9.27, 9.28 y 9.29 se calcularán otros parámetros de la carcasa como son: espaciado entre placas deflectoras, área máxima perpendicular al flujo, densidad de flujo másico, velocidad del fluido por la carcasa y el diámetro equivalente de la carcasa con una distribución cuadrada respectivamente.

Cuando ya se han calculado todos los parámetros geométricos y de distribución del intercambiador, se procede a calcular los coeficientes



individuales de transmisión de calor de lado de los tubos y del lado de la carcasa.

Para el coeficiente individual de transmisión de calor del lado de los tubos, se calcula el Reynolds, el Prandtl y el Nusselt con las ecuaciones 9.30, 9.31 y 9.32, y mediante la correlación de la ecuación 9.33 se obtiene el coeficiente  $h_i$ .

En el caso del coeficiente individual de transmisión de calor del lado de la carcasa, con la *gráfica 3 del Anexo II* se obtiene el factor  $j_h$  y con la ecuación 9.34 se calcula el Nusell. Posteriormente, con la ecuación 9.35 se podrá determinar el coeficiente individual de transmisión de calor del lado de la carcasa  $h_o$ .

Sabiendo que intercambiados está construido de acero inoxidable, cuya conductividad  $k_w=16$  W/m°C, y con los factores de ensuciamiento  $h_{id}$  y  $h_{od}$  sacados de valor tipos dados por *Coulson and Richardson, Vol. 6 [11]*, se puede determinar el coeficiente global de transmisión de calor con la ecuación 9.36.

El procedimiento es iterar hasta que el coeficiente global de transmisión de calor calculado sea ligeramente superior al coeficiente global supuesto.

Por último, se calculará la caída de presión en el lado de la carcasa, para saber si el intercambiador es viable o no. Para ello se utiliza la *gráfica 4 del Anexo II* para determinar el factor  $j_f$  con un “baffle cut” del 45% y con la ecuación 9.37 se determina dicha caída de presión.

Los resultados de los cálculos de los tubos y la carcasa son:

<b>U supuesto</b>	730 W/m <sup>2</sup> °C
<b><math>\Delta T_1</math></b>	55 °C
<b><math>\Delta T_2</math></b>	25 °C
<b><math>\Delta T_{lm}</math></b>	38,05 °C
<b>R</b>	2
<b>S</b>	0,35
<b>F</b>	0,8
<b><math>\Delta T_m</math></b>	30,44 °C
<b>A</b>	2,88 m <sup>2</sup>
<b><math>d_o</math></b>	0,016 m
<b>L</b>	1,83 m
<b><math>n_t</math></b>	32

9. DIMENSIONADO DE EQUIPOS

<b>e</b>	0,002 m
<b>d<sub>i</sub></b>	0,012 m
<b>v<sub>t</sub></b>	0,30 m/s
<b>Pasos tubo</b>	4
<b>k<sub>1</sub> (dist. cuadrada)</b>	0,215
<b>n<sub>1</sub> (dist. cuadrada)</b>	2,207
<b>D<sub>b</sub></b>	0,153 m
<b>P<sub>t</sub></b>	0,02 m
<b>H</b>	0,038 m
<b>D<sub>s</sub></b>	0,191 m
<b>l<sub>b</sub></b>	0,019 m
<b>A<sub>s</sub></b>	0,00073 m <sup>2</sup>
<b>G'<sub>s</sub></b>	697,65 kg/m <sup>2</sup> s
<b>u<sub>carcasa</sub></b>	0,71 m/s
<b>d<sub>e</sub></b>	0,016 m

El cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor del lado de los tubos resulta:

<b>Re</b>	9820
<b>Pr</b>	2,22
<b>Nusselt</b>	46,73
<b>h<sub>i</sub></b>	2610 W/m <sup>2</sup> °C

El cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor del lado de la carcasa resulta:

<b>Re</b>	15184
<b>Pr</b>	4,82
<b>j<sub>f</sub> (baffle cut 45%)</b>	0,0035
<b>Nu</b>	89,76
<b>h<sub>0</sub></b>	3592,69 W/m <sup>2</sup> °C

Con todos estos datos el coeficiente global de transmisión de calor calculado es:

$$U_0 = 732 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$$

La caída de presión del lado de la carcasa es:

<b>Baffle cut</b>	<b>45 %</b>
<b><math>j_f</math></b>	<b>0,003</b>
<b>Caída presión</b>	<b>0,07 bar</b>

El resumen de las dimensiones principales del intercambiador de calor de carcasa y tubos se exponen en la *tabla 9.3* a continuación:

<b>Área intercambio calor (A)</b>	2.88 m <sup>2</sup>
<b>Diámetro externo tubo (d<sub>o</sub>)</b>	0.016 m
<b>Espesor de pared (e)</b>	0.002 m
<b>Diámetro interno tubo (d<sub>i</sub>)</b>	0.012 m
<b>Longitud tubos (L)</b>	1.83 m
<b>Número de tubos (n<sub>t</sub>)</b>	32
<b>Pasos por tubos</b>	4
<b>Distribución bancada tubos</b>	Cuadrada
<b>Diámetro de la carcasa (D<sub>s</sub>)</b>	0.191 m
<b>Espacio entre placas deflectoras (l<sub>b</sub>)</b>	0.019 m

Tabla 9.3. Dimensiones más importantes del intercambiador de calor de carcasa y tubos.

Tabla de simbología con su significado del intercambiador de calor:

SÍMBOLO	NOMBRE	UNIDAD
<b>A</b>	Área del intercambiador de calor	m <sup>2</sup>
<b>A<sub>s</sub></b>	Área máxima perpendicular al flujo	m <sup>2</sup>
<b>c<sub>p</sub></b>	Calor específico	J/kg·K
<b>d<sub>o</sub></b>	Diámetro externo del tubo	m
<b>d<sub>i</sub></b>	Diámetro interno del tubo	m
<b>D<sub>b</sub></b>	Diámetro de la bancada de tubos	m
<b>D<sub>s</sub></b>	Diámetro de la carcasa	m
<b>d<sub>e</sub></b>	Diámetro equivalente de la carcasa	m
<b>e</b>	Espesor de pared de los tubos	m
<b>G</b>	Flujo de refrigerante	kg/ s
<b>G'<sub>s</sub></b>	Densidad de flujo másico	kg/m <sup>2</sup> s
<b>H</b>	Holgura en la carcasa	m
<b>h<sub>i</sub></b>	Coefficiente individual transmisión calor tubos	W/m <sup>2</sup> °C
<b>h<sub>o</sub></b>	Coefficiente individual transmisión calor carcasa	W/m <sup>2</sup> °C
<b>h<sub>id</sub></b>	Factor ensuciamiento tubos	W/m <sup>2</sup> °C

SÍMBOLO	NOMBRE	UNIDAD
$h_{od}$	Factor ensuciamiento carcasa	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$j_h$	Coficiente cálculo coeficiente individual transmisión de calor de la carcasa	-
$j_f$	Factor de fricción	-
$k$	Conductividad térmica	$W/m \cdot K$
$k_1$	Factor distribución bancada	-
$k_w$	Conductividad térmica del metal	$W/m \cdot K$
$L$	Longitud de los tubos	m
$l_b$	Espaciado entre placas deflectoras	m
$n_t$	Número de tubos	-
$n_{pasos}$	Número de pasos por tubos	-
$n_1$	Factor distribución bancada	-
$Nu$	Nusell	-
$P_t$	Paso por tubo	m
$Pr$	Prandt	-
$\Delta P_s$	Caída de presión en la carcasa	bar
$Q$	Flujo se calor	J/s
$Re$	Reynolds	-
$S$	Superficie de intercambio de calor	$m^2$
$\Delta T_m$	Diferencia de temperatura real	$^\circ C$
$U$	Coficiente global transmisión de calor	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$U_{carcasa}$	Velocidad del fluido por la carcasa	m/s
$U_0$	Coficiente global transmisión calor calculado	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$v_t$	Velocidad por el interior de los tubos	m/s
$\rho$	Densidad	$kg/m^3$
$\mu$	Viscosidad	$kg/ms$



### INTERCAMBIADOR DE CALOR-HOJA DE ESPECIFICACIONES

REV.	0			TRABAJO Nº	1
FECHA	25/06/2015			UNIDAD	INTERCAMBIADOR CALOR
POR	APP			CLIENTE	UVA
A PPRV				LOCALIZACIÓN	VALLADOLID
REV.					
1	ITEM NUMERO	IC-101		CANTIDAD	1
2	SERVICIO	ENFRIAMIENTO LICOR TÁNICO			
3	OPERATING CASE				
4	TEMA Tipo	CARCASA Y TUBOS	Unidades	LADO CARCASA	LADO TUBOS
5	FLUIDO CIRCULANTE			AGUA	LICOR TÁNICO
6	FLUJO TOTAL.	Normal (Máx.)	kg/h	1836	900
7	LONGITUD TUBOS		mm	1830	
8	DIÁMETRO TUBOS		mm	16	
9	ESPESOR PARED TUBOS		mm	2	
10	PASO POR TUBOS Y DISTRIBUCIÓN			4 PASOS/ DISTRIBUCIÓN CUADRADA	
11	DIÁMETRO DE LA CARCASA		mm	191	
12	ESPACIADO ENTRE PLACAS DEFLECTORAS		mm	19	
13	DENSIDAD LÍQUIDO (Entrada/Salida)		kg/m <sup>3</sup>	982	982
14	VISCOSIDAD LÍQUIDO (Entrada/Salida)		cP	0,73	0,73
15	PESO MOLECULAR GAS (Entrada/Salida)				
16	CALOR ESPECÍFICO(Entrada/Salida)		kcal/kg °C	1,0027	1,0027
17	ENTALPÍA (Entrada/Salida)				
18	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		W/m K	0,63	0,67
19	TENSIÓN SUPERFICIAL		dyna/cm		
20	TEMPERATURA ENTRADA		°C	15	100
21	SALIDA		°C	45	40
22	PRESIÓN OPERACIÓN (Normal, Entrada)		barg	1	2
23	CÁIDA DE PRESIÓN PERMITIDA		bar	0,2	0,3
24	FACTORES ENSUCIAMIENTO		h m <sup>2</sup> °C/kcal	2,33*10 <sup>-4</sup>	1,94*10 <sup>-4</sup>
25	DUTY		kcal/h	55117,69	
26	SOBREDIMENSIONADO DE SUPERFICIE		%	0	
27	<b>CONDICIONES DISEÑO</b>				
28	PRESIÓN		barg	3,5	3,5
29	TEMPERATURA		°C	70	130
30	<b>MATERIALES</b>				
31	Carcasa y cubierta	Stainless steel Cr/Ni AISI 304	Tubos	Stainless steel Cr/Ni AISI 304	
32	Cabezal flotante y cubierta	Stainless steel Cr/Ni AISI 304	Canal and cubierta	S. steel Cr/Ni AISI 304	
33	Sujección tubos	Stainless steel Cr/Ni AISI 304	Tubos flotantes	S. steel Cr/Ni AISI 304	
34	Placa desgaste	Stainless steel Cr/Ni AISI 304	Baffles	Stainless steel Cr/Ni AISI 304	
35	Tipo unión	Soldadura	Juntas		
36	SOBRES. CORROSIÓN	Lado carcasa	2 mm	Lado tubos	2 mm
37	BOQUILLAS	Lado carcasa	Entrada	5/3" inch	Salida 5/3" inch
38		Lado tubos	Entrada	5/3" inch	Salida 5/3" inch
39	REQUISITOS DEL CÓDIGO				
40	<b>NOTAS</b>				
41					
41					
42					
43					
44					

### 9.3. Cálculo del módulo de membrana de ultrafiltración (UF-101)

Para el cálculo de las membranas de ultrafiltración, se va a usar el modelo de “finely porous” desarrollado por Merten (1966), y *Soltanieh and Gill (1981) [17]*. Posteriormente, el modelo ha sido desarrollado más a fondo por *Jonsson and Boesen (1975) [18]*.

Este modelo es una combinación de los modelos de difusión y de flujo viscoso, que asumen que el transporte de materia a través de la membrana se lleva a cabo por difusión o por flujo viscoso respectivamente.

*Jonsson and Boesen (1975) [18]* consideran la siguiente ecuación para el cálculo del flujo de soluto en el poro:

$$J_s = -\frac{R_g \cdot T}{x_{21} \cdot b} \frac{dc_s}{dx} + \frac{c_s \cdot u}{b} \quad (\text{ecuación 9.38})$$

$$b = \frac{X_{21} + X_{23}}{X_{21}} \quad (\text{ecuación 9.39})$$

$J_s = \text{flujo de soluto}$

$R_g = \text{constante universal de los gases}, 8.314 \frac{J}{\text{mol K}}$

$T = \text{temperatura}$

$c_s = \text{concentración del soluto en la membrana}$

$u = \text{velocidad de transporte}$

$X_{21} = \text{coeficiente fricción entre el soluto y el disolvente}$

$X_{23} = \text{coeficiente fricción entre el soluto y la membrana}$

Si el coeficiente de distribución del soluto entre el fluido del poro y la disolución de alimentación es  $K$ , y el coeficiente de fricción  $X_{21} = R_g \cdot T / D_{sw}$  (siendo  $D_{sw}$  el coeficiente de difusión del soluto en el disolvente), la integración de la ecuación 9.38 con las condiciones de contorno

$$x = 0: c_s = K \cdot c_w$$

$$x = \tau \Delta z: c_s = K \cdot c_p$$

$c_w = \text{concentración del soluto en la pared de la membrana}$

$\tau = \text{tortuosidad}$

$\Delta z = \text{grosos efectivo de la membrana}$

$c_p = \text{concentración del soluto en el permeado}$

y usando la condición de producto  $c_p = J_s/u$ , la expresión dada por *Jonsson and Boesen (1975) [18]* para el rechazo es:

$$\frac{1}{1-R} = \frac{b}{K} + \left(1 - \frac{b}{K}\right) \cdot e^{\frac{\tau \Delta z}{\epsilon} \frac{J_v}{D_{sw}}} \quad (\text{ecuación 9.40})$$

$R = \text{rechazo}$

$\epsilon = \text{porosidad de la membrana}$

$J_v = \text{flujo de permeado}$

donde el parámetro  $b/K = A_1$  es el factor de máximo rechazo y  $\tau \Delta z / \epsilon = A_2$  es el grosor efectivo de la membrana. Se puede hallar su valor haciendo ajuste de parámetros usando datos experimentales.

La ecuación para el flujo de permeado también ha sido dada por *Jonsson and Boesen (1975) [18]*:

$$J_v = \frac{\epsilon \cdot r_p^2}{8 \cdot \mu} \left( \frac{\Delta p_m}{\tau \Delta z} - X_{23} \frac{J_s}{M_2} \right) \quad (\text{ecuación 9.41})$$

$r_p = \text{radio del poro}$

$\mu = \text{viscosidad de la disolución}$

$\Delta p_m = \text{diferencia de presión efectiva a través de la membrana}$

$M_2 = \text{masa molecular del soluto}$

Si sustituimos  $J_s = c_p \cdot u = c_p \cdot J_v / \epsilon$  en la ecuación 9.41, resulta la siguiente expresión para el flujo de permeado:

$$J_v = \frac{\epsilon \cdot r_p^2}{8 \cdot \mu} \left( \frac{1}{1 + \frac{r_p^2}{8 \cdot \mu} \cdot \frac{X_{23} \cdot c_p}{M_2}} \right) \frac{\Delta p_m}{\tau \Delta z} \quad (\text{ecuación 9.42})$$

Si reordenamos la ecuación anterior, resulta;

$$\frac{\Delta p_m}{J_v \cdot \mu} = \frac{\tau \Delta z \cdot X_{23}}{\epsilon \cdot M_2} \cdot \frac{c_p}{\mu} + \frac{\tau \Delta z \cdot 8}{\epsilon \cdot r_p^2} \quad (\text{ecuación 9.43})$$

Donde el parámetro  $\tau\Delta z X_{23}/\varepsilon M_2 = B_1$  es el coeficiente de fricción y  $\tau\Delta z \delta/\varepsilon r_p^2 = B_2$  es la constante de la membrana. Estos parámetros  $B_1$  y  $B_2$  pueden obtenerse a través de un ajuste de las ecuaciones anteriores con datos experimentales.

Aunque estas ecuaciones puedan parecer muy complejas, si reescribimos la ecuación 9.40 y la ecuación 9.43 introduciendo los parámetros  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  y  $B_2$ , el modelo “finely poruos” puede calcularse con las siguientes expresiones:

$$R = 1 - [A_1 - (1 - A_1) \cdot e^{-A_2 \cdot J_v / D_{sw}}]^{-1} \quad (\text{ecuación 9.44})$$

$$J_v = \frac{\Delta p_m}{B_1 \cdot c_p + B_2 \cdot \mu} \quad (\text{ecuación 9.45})$$

Estas ecuaciones 9.44 y 9.45 tienen que ser resueltas numéricamente. Los coeficientes  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  y  $B_2$  se obtienen del estudio experimental realizado por H. Niemi and S. Palosaari (1993) [13] con membranas de ultrafiltración.

Las características de la membrana de polisulfona (BX6U) escogida son:

- ✓ Diámetro de cada fibra 0.0125 m
- ✓ Longitud de cada fibra 1.2 m
- ✓ Área de membrana por cada fibra 0.05 m<sup>2</sup>

A continuación se muestran los valores de todos los parámetros conocidos:

<b>A<sub>1</sub></b>	52.94
<b>A<sub>2</sub></b>	5.14·10 <sup>-6</sup> m
<b>B<sub>1</sub></b>	82.7·10 <sup>9</sup> m <sup>-1</sup>
<b>B<sub>2</sub></b>	20.0·10 <sup>12</sup> m·s <sup>-1</sup>
<b>D<sub>sw</sub></b>	0.84·10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>
<b>Δp<sub>m</sub></b>	3 bar
<b>c<sub>p</sub></b>	7.76 kg·m <sup>-3</sup>
<b>M</b>	0.653·10 <sup>-3</sup> kg·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup>

Introduciendo todos estos datos en las ecuaciones 9.44 y 9.45, y resolviéndolas numéricamente, se obtiene:

$$J_v = 1.2176 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$$

$$R = 99\%$$

El flujo que se obtiene es por  $\text{m}^2$  de membrana, por lo que conocido nuestro flujo a través del balance de materia, y también sabiendo el área que tiene cada fibra de la membrana, es posible determinar el área necesaria de filtración y, por tanto el número de fibras del que tendrá que estar formado el módulo de ultrafiltración.

$$J_v \cdot A_{\text{membrana}} = J_{\text{permeado}} \quad (\text{ecuación 9.46})$$

$$A_{\text{membrana}} = \frac{J_{\text{permeado}}}{J_v} \quad (\text{ecuación 9.47})$$

$$\begin{aligned} J_v &= \text{flujo por unidad de área de membrana} \\ A_{\text{membrana}} &= \text{área total módulo ultrafiltración} \\ J_{\text{permeado}} &= \text{flujo de permeado real} \end{aligned}$$

El flujo de permeado es conocido, ya que se ha fijado que el rechazo tenga una concentración del 14%, y como se ha calculado el rechazo, se puede conocer el flujo de permeado, que está calculado en el balance de materia. Este flujo es de  $2.40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , ya que se ha fijado que el tiempo de operación de la membrana es de 2 minutos para tratar el efluente de una carga procedente del extractor. Introduciendo estos datos en la ecuación 9.47, se obtiene un área de:

$$A_{\text{membrana}} = 1.97 \text{ m}^2$$

Como cada fibra hueca de la membrana tiene un área de  $0.05 \text{ m}^2$  como se especificó anteriormente, el número de fibras necesarias sería:

$$\text{N}^\circ \text{fibras huecas} = 39.46 \approx 40 \text{ fibras huecas}$$



## MEMBRANAS UF- HOJA DE ESPECIFICACIONES

REV.	1				TRABAJONº	1
FECHA	24/06/2015				UNIDAD	MEMBRANAS ULTRAFILTRACIÓN
POR	APP				CLIENTE	UVA
APPRV					LOCALIZACIÓN	VALLADOLID
REV.						
1	NÚMERO ITEM UF-101	CANTIDAD: 1				
2	SERVICIO: ULTRAFILTRACIÓN DEL LICOR TÁNICO					
3		UNIDADES				
4	FLUIDO FILTRADO		Licor tánico			
5	MATERIAL FILTRANTE		Membrana ultrafiltración de polisulfona			
6	CANTIDAD SÓLIDOS		1%			
7	GRADO DE FILTRADO REQUERIDO	micron				
8	FLUJO NORMAL	m <sup>3</sup> /h	0,01			
9	FLUJO MÁXIMO/FLUJO MÍNIMO	m <sup>3</sup> /h	0,005 / 0,2			
10	TEMPERATURA ENTRADA (T)	°C	40			
11	PRESIÓN ENTRADA	bar g	2			
12	GRAVEDAD ESPECÍFICO@ T	kg /m <sup>3</sup>	0,98 @ 40°C			
13	VISCOSIDAD @ T	cP	65 @ 40°C			
14	MÁX. CAÍDA PRESIÓN PERMITIDA LIMPIEZA	bar	1			
15	MÁX. CAÍDA PRESIÓN PERMITIDA SUCIEDAD	bar	0,5			
16			<b>CONEXIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TAMAÑO</b>	
17	PRESIÓN DISEÑO	3 bar	ENTRADA	1	2"	
18	TEMPERATURA DISEÑO	40 °C	SALIDA	2	2"	
19	MATERIAL CONSTRUCCIÓN	Membrana polisulfona	VENT			
20	TIPO DE MEMBRANA	Fibras huecas	DRENAJE			
21	DIÁMETRO FIBRA	0,0125	PRESIÓN			
22	LONGITUD FIBRA	1,2 m	MEDIDOR PRES. DIF.	1	1/2"	
23	NÚMERO FIBRAS	40				
24	ÁREA MEMBRANA POR FIBRA	0,05 m <sup>2</sup>				
25	CONTRACORRIENTE REQUERIDO					
26	- MEDIO					
27	- PRESIÓN ENTRADA (bar g)					
28	- TEMPERATURA ENTRADA (°C)					
29						
30						
31	<b>NOTAS</b>					
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						



# 10. ESTUDIO ECONÓMICO





En este apartado se realizará una evaluación económica simplificada del coste total de la planta y se estimará el precio de venta de los productos en el mercado que permita hacer rentable la instalación. El estudio se completará con un análisis de sensibilidad de la inversión respecto del precio de venta de los productos (licor tánico concentrado y pomada agotada).

### 10.1. Coste total de la planta

Para hacer una estimación del coste de la planta, se usará el método de Lang. Propuesto, inicialmente por Lang (1947) concluye que se puede expresar el coste de una planta como un múltiplo del coste de todo el equipo base. A este término de proporcionalidad se le denominó, factor de Lang.

La manera de calcular dicho factor, se explica a continuación:

El capital total invertido (TIC) se expresa como la suma del capital fijo invertido (FCI), el capital de trabajo (WC) y el coste de puesta en marcha (SUC). Los dos últimos se expresarán como un porcentaje del capital total invertido, mientras que el capital fijo invertido se calcula como la suma de los costes directos e indirectos.

Los costes indirectos (IC) se calcularán a su vez como la suma de las contingencias y los costes de propiedad, que serán expresados como un porcentaje del coste directo.

Los costes directos (DC) se calcularán como la suma de los límites dentro de batería (ISBL) y los límites fuera de batería (OSBL). Estos últimos también se expresarán como un porcentaje, en este caso de los límites dentro de batería.

Por último, los límites dentro de batería (ISBL) será la suma del precio de compra de equipos (PE), la instalación de los equipos (PEI), la instrumentación y control (IC), las tuberías (P) y el equipamiento eléctrico y material (E). El coste de equipos será el coste de compra de los equipos principales del proceso, mientras que el resto de partidas se calcularán como un porcentaje de este coste de equipos.

Se expone a continuación una manera más esquemática y que permite una mejor apreciación de cómo se calculan las partidas de este método:

10. ESTUDIO ECONÓMICO

- **TIC=FCI+WC+SUC**

TIC: Capital total invertido (TOTAL CAPITAL INVESTMENT)

FCI: Capital fijo invertido (FIXED CAPITAL INVESTMENT)

WC: Capital de trabajo (WORKING CAPITAL) (0.15 TIC)

SUC: Coste puesta en marcha (START-UP COST) (0.10 FCI)

$$\mathbf{TIC=1.29 \cdot FCI}$$

- **FCI = DC + IC**

DC: Costes directos (DIRECT COST)

IC: Costes indirectos (INDIRECT COST)

$$IC = OWC + CO$$

CO: Contingencias (CONTINGENCIES) (CO = 0.20 DC)

OWC: Coste propiedad (OWNER'S COSTS) (0.05 DC)

$$IC = 0.25 \cdot DC$$

$$\mathbf{FCI=1.25 \cdot DC}$$

- **DC = ISBL + OSBL**

ISBL: Dentro de límites de batería (INSIDE OF BATTERY LIMITS)

OSBL: Fuera de límites de batería (OUTSIDE OF BATTERY LIMITS) (OSBL=0.45 ISBL)

$$\mathbf{DC=1.45 \cdot ISBL}$$

- **ISBL=PE+PEI+IC+P+E**

PE: Precio compra de equipos (PURCHASED EQUIPMENT COST)

PEI: Instalación equipos (EQUIPMENT INSTALLATION) (35% PE)

IC: Instrumentación y control (INSTRUMENTATION AND CONTROL) (10% PE)

P: Tuberías (PIPING) (12% PE)

E: Equipamiento eléctrico y material (ELECTRICAL EQUIPMENT AND MATERIAL) (10% PE)

$$\mathbf{ISBL= (1+0.35+0.10+0.12+0.10) \cdot PE=1.67 \cdot PE}$$

Teniendo en cuenta todos estos factores del método de Lang, se obtiene:

$$TIC=1.29 \cdot FCI$$

$$FCI=1.25 \cdot DC$$

$$DC=1.45 \cdot ISBL$$

$$ISBL=1.67 \cdot PE$$

$$TIC=1.29 \cdot 1.25 \cdot 1.45 \cdot 1.67 \cdot PE = 3.917 \cdot PE$$

$$\mathbf{TIC=3.917 \cdot PE}$$

El coste de compra de equipos (PE) se calcula como la suma de los equipos principales, cuyo precio se ha obtenido de diferentes fuentes, como puede ser la bibliografía y casas comerciales. Los precios han sido actualizados al momento actual mediante el CEPCI. En la *tabla 10.1* se muestra el precio de cada equipo y el total de todos los equipos.

EQUIPO	PRECIO
Extractor de tanque	780 €
Sistema agitación tanque	650 €
Centrífuga de tazón tubular	1000 €
Intercambiador de calor de carcasa y tubos	4800€
Membranas ultrafiltración	5000€
<b>TOTAL</b>	<b>12230 €</b>

Tabla 10.1. Precios de los equipos.

El resumen de las partidas principales del método de Lang se expone en la *tabla 10.2*, la cual muestra también el coste total de la inversión.

<b>COSTES DIRECTOS (DC)</b>	<b>29614.95 €</b>
ISBL	20424.10 €
OSBL	9190.85 €
<b>COSTES INDIRECTOS (IC)</b>	<b>7403.74€</b>
CO	5922.99 €
OWC	1480.75 €
<b>CAPITAL FIJO DE LA INVERSIÓN (FCI)</b>	<b>37018.69 €</b>
<b>CAPITAL DE TRABAJO DE LA PLANTA (WC)</b>	<b>7185.98 €</b>
<b>COSTE DE PUESTA EN MARCHA (SUC)</b>	<b>3701.87 €</b>
<b>COSTE TOTAL DE LA INVERSIÓN (TIC)</b>	<b>47906.54 €</b>

Tabla 10.2. Resumen de las partidas más importantes del método de Lang.

Otra manera de calcular el precio de los equipos es multiplicar directamente el factor de Lang por el precio de los equipos, obteniéndose, lógicamente, el mismo coste total de inversión (TIC) que la suma del desglose de las partidas:

$$\text{TIC} = 3.917 \cdot 12230 = 47906 \text{ €}$$

## 10.2. Estudio de viabilidad económica

Teniendo en cuenta este coste de la instalación, así como otros costes como pueden ser el precio de las materias primas y el precio de venta de los productos mostrados en la *tabla 10.3*, salarios, costes fijos y variables, capital circulante, depreciación, etc. se ha llevado a cabo un estudio económico simplificado.

	Flujo (kg/año)	Precio (€/kg)	Coste (Miles €)
<b>MATERIAS PRIMAS</b>			
Pomada de uva	5835.52	0	0.00
NaOH	809.68	0.28	0.23
Agua (m <sup>3</sup> )	40015	0.8037	32.16
<b>PRODUCTOS</b>			
Concentrado tánico	2141.37	39.50	26.99
Pomada agotada	14286.72	2.50	92.31

Tabla 10.3. Flujos y costes de materias primas y productos.

Se ha supuesto que la planta se instalaría dentro de otra instalación, como continuación del proceso, por lo que la materia prima sería el residuo resultante de la producción del vino, y por tanto, no supondría ningún coste su adquisición.

El coste de venta del licor tánico concentrado (39.5 €/kg) puede parecer, a priori, relativamente elevado, pero hay que considerar que se trata de un producto de alto valor añadido. Los concentrados de taninos, bien sean en forma de disolución o en polvo, encuentran aplicación en la industria farmacéutica y de cosméticos, industrias en las cuales el precio venta de sus productos finales son elevados, por lo que pueden asumir un precio de materias primas también considerablemente alto. En este caso el concentrado de taninos que se obtiene con el proceso es de alta calidad,

prácticamente libre de impurezas y extraídos de manera que hace posible su utilización en estos mercados tan exigentes. A falta de datos de precios de venta de un producto de similares características que se encuentre actualmente en el mercado se puede afirmar que el precio resultante del cálculo es razonable.

El balance de costes e ingresos y los flujos de caja resultantes de este estudio se muestran en la *tabla 10.4*. Cabe destacar que el propósito de esta planta piloto es el estudio del proceso y no el lucro económico. No obstante, se realiza el estudio económico para conocer qué precios tendrían que tener en el mercado los productos para que la planta fuese rentable.

Se ha tenido en cuenta que la planta operará durante 12 horas al día, en dos turnos de trabajo, con un operario en cada turno. Se estima que operará durante 320 días/año.

La amortización de los equipos y de la planta se ha fijado en 10 años desde su inicio, e imponiendo un impuesto del 30%, se pueden determinar los flujos de caja.

Descripción (Miles€)	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capital fijo	51,26										
Capital circulante		2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
<b>Fondos invertidos</b>	-51,26	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40
Ingresos por ventas	120,30	123,91	127,63	131,46	135,40	139,46	143,65	147,95	152,39	156,97	161,67
Costes	-99,57	-101,56	-103,60	-105,67	-107,78	-109,94	-112,14	-114,38	-116,67	-119,00	-121,38
<b>Margen bruto</b>	20,73	22,35	24,03	25,79	27,62	29,53	31,51	33,58	35,73	37,97	40,30
Depreciación	-4,79	-4,79	-4,79	-4,79	-4,79	-4,79	-4,79	-4,79	-4,79	-4,79	-4,79
<b>Beneficio antes de impuestos</b>	15,94	17,55	19,24	21,00	22,83	24,73	26,72	28,79	30,94	33,18	35,50
Impuestos (30%)	-4,78	-5,27	-5,77	-6,30	-6,85	-7,42	-8,02	-8,64	-9,28	-9,95	-10,65
<b>Beneficio después de impuestos</b>	11,16	12,29	13,47	14,70	15,98	17,31	18,70	20,15	21,66	23,22	24,85
<b>Fondos generados en operaciones</b>	-40,10	9,89	11,07	12,30	13,58	14,92	16,31	17,75	19,26	20,83	22,46
<b>Flujo de caja acumulado</b>	-40,10	-30,21	-19,14	-6,83	6,75	21,67	37,98	55,73	74,99	95,82	118,28

Tabla 10.4. Balance de costes e ingresos y flujos de caja.

Con estos flujos de caja se puede calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), que son dos indicadores económicos que permiten valorar si nuestra inversión va a ser rentable o no. Los precios de venta de los productos se han decidido tras analizar estos indicadores, siendo los resultados que se han mostrado en la *tabla 10.3* aquellos que hacen que la inversión sea rentable desde el punto de vista económico. Es preciso volver a

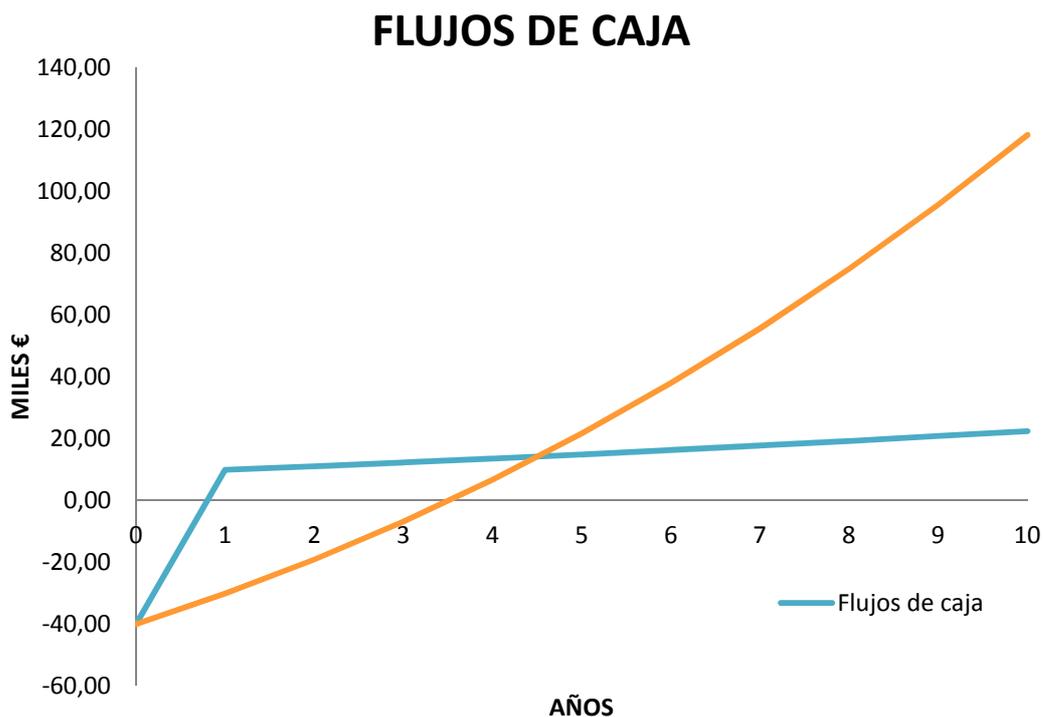
puntualizar que el propósito de la instalación no es la actividad económica, por lo que sólo son unos datos orientativos de precios que deberían tener en el mercado si se quisiera obtener beneficio económico. Los valores del VAN y TIR calculados son:

$$\text{VAN} = 55890.50 \text{ €}$$

$$\text{TIR} = 30\%$$

El VAN adquiere un valor positivo, lo que hace que económicamente la planta sea rentable, con una rentabilidad del 117% respecto a la inversión inicial (VAN/inversión). La tasa interna de rentabilidad (TIR) tiene un valor lo suficientemente alto como para indicar que será rentable económicamente.

Los flujos de caja y los flujos de caja acumulados se han representado gráficamente, mostrándose en la *gráfica 10.1*.

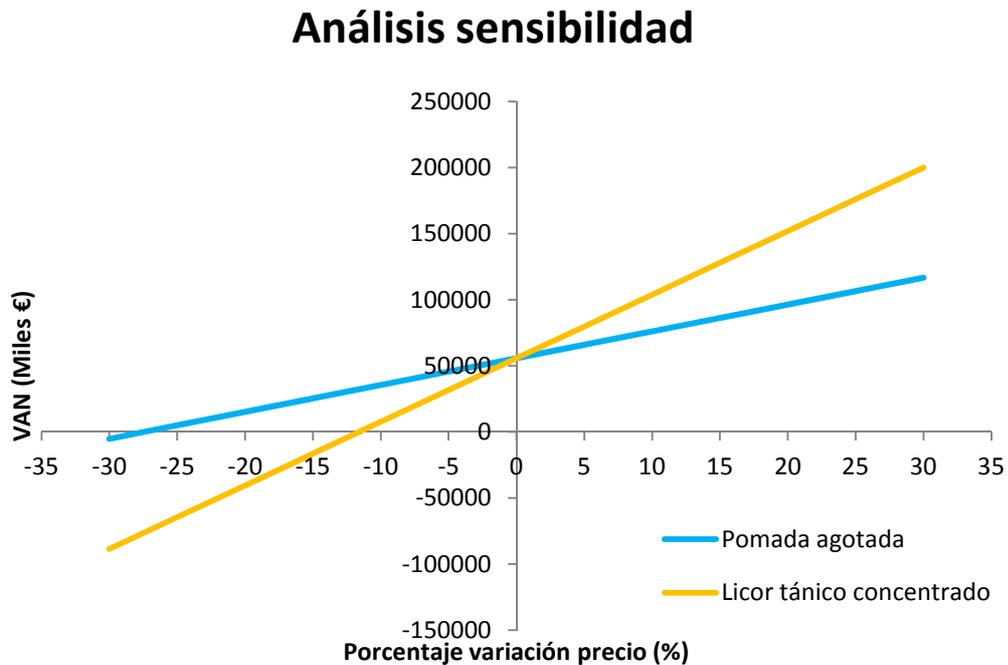


Gráfica 10.1. Flujos de caja y flujos de caja acumulados en función del tiempo de amortización.

A la vista de la *gráfica 10.1*, se observa que la inversión se habría recuperado, aproximadamente, a mediados del tercer año con los precios de venta propuestos. Desde el punto de vista económico, este dato es buen indicador de que la inversión será viable.

### 10.3. Análisis de sensibilidad

También se ha realizado un análisis de sensibilidad, con el fin de conocer cómo afectaría una variación del precio de los productos al valor actual neto (VAN). La *gráfica 10.2* muestra este estudio.



Gráfica 10.2. Análisis de sensibilidad de los precios de los productos.

Las conclusiones extraídas del análisis de sensibilidad es que: el precio de venta del licor tánico concentrado va a ser el factor más crítico en la viabilidad económica del proceso, ya que una disminución del 12% en su precio, va a hacer que el proyecto deje de ser rentable desde el punto de vista económico. Sin embargo, las variaciones en el precio de la pomada de uva agotada no van a afectar tan significativamente al VAN.





# 11. IMPACTO AMBIENTAL





### 11.1. Valoración del impacto medioambiental de la planta

Las ventajas medioambientales del proceso seleccionado para la obtención de concentrado de taninos a partir de pomada de uva son las siguientes [19]: (life tannins Project)

- ✓ La deforestación es el principal problema que podría ser reducido utilizando la pomada de uva (principalmente pepita de uva) como fuente renovable para la obtención de extractos tánicos. Así, una empresa fabricante de extractos con capacidad de tratamiento de 22830 toneladas anuales de harina de pepita, podría obtener 2625 toneladas de extracto tánico de pepita de uva al año. La sustitución de los extractos comerciales por esta cantidad de extracto tánico de pepita de uva, evitaría la tala de unos 551.250 árboles aproximadamente al año entre las especies más comúnmente utilizadas, que son quebracho, mimosa y castaño.
- ✓ La reducción del residuo vinícola y su valorización como materia prima es un beneficio medioambiental. Por cada 100 kg de uva vendimiada se obtiene entre 1.22 y 2.18 kg de harina de pepita desengrasada. Como los taninos se extraen de esta harina, la cantidad de materia prima en Europa podría representar entre 287 y 514 millones de kilogramos de harina de pepita anuales.
- ✓ Máxima valorización de un subproducto (pomada de uva) poco valorizado que actualmente se emplea en usos de compostaje y generación de energía.
- ✓ Reducción del coste logístico, porque se contaría con extracto vegetal disponible localmente, lo que evitaría fuentes lejanas.
- ✓ Mejora en la salud laboral por la reducción de la formación de polvo en el lugar de trabajo, al reemplazar un producto en polvo por otro en una solución líquida, ya que nuestro producto es una solución acuosa de concentrada en taninos.

## 11.2. Gestión de los residuos restantes del proceso

El proceso de obtención de taninos a partir de pomada de uva genera dos efluentes de diferente naturaleza: un sólido húmero, que es la pomada de uva agotada, y otro líquido, que es el agua residual extraída del proceso de concentración con membranas (permeado).

El tratamiento que recibirá cada uno de estos efluentes será:

- **Pomada de uva agotada**

La pomada de uva agotada es un residuo sólido que puede encontrar diferentes usos, entre los que se encuentran:

- **Compostaje:**

La pomada de uva es altamente biodegradable, por lo que encuentra una aplicación directa como material para compostar.

- **Carbón activo:**

El residuo es válido para la producción de carbón activo obteniéndose buenas propiedades absorbentes [19].

- **Combustible (biomasa):**

El resto sólido podría ser aprovechado como combustible para calderas de biomasa, o bien se podría peletizar para el mismo fin.

- **Agua residual del proceso de membranas (permeado).**

Aunque la cantidad de materia orgánica que contiene este permeado es muy baja, esta agua debe ser tratada para eliminar este componente orgánico. Para ello se tratará biológicamente en unos reactores biológicos aerobios.

# 12. ESTUDIO DE SEGURIDAD



En este apartado se tratarán temas de seguridad, como son los riesgos generales y su prevención. Además, se realizará un análisis HAZOP del extractor de tanque agitado (TA-101).

### **12.1. Riesgos generales y medidas preventivas**

En el *Anexo III. Seguridad* se recogen de manera general los principales riesgos y sus correspondientes medidas preventivas.

### **12.2. Análisis HAZOP al extractor discontinuo de tanque agitado (TA-101)**

A continuación, se muestra un análisis HAZOP a las líneas más importantes del extractor de tanque agitado (equipo principal del proceso).



**ANÁLISIS HAZOP**

CLIENTE: UVA  
 PLANTA: EXTRACCIÓN TANINOS  
 SISTEMA: EXTRACTOR TA-101  
 TIPO OPERA.: EXTRACCIÓN DISCONT.

NODO Nº: 1  
 PLANO: PI-001  
 EQUIPO/LINEA: 3/8"-A-102a-SS4  
 INTENCIÓN DISEÑO: SEGURIDAD

REV: 3  
 FECHA: 30/06/2015  
 POR: APP

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO	NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en el suministro de agua	- No se lleva a cabo la extracción por falta de disolvente.	- Revisión periódica de las válvulas, de las tuberías y de los controladores. -Apertura manual de válvula.
MÁS	MÁS FLUJO	1. Válvula atascada abierta. 2. Fallo del control de flujo	- Cambio en las proporciones de la extracción. - Posible desbordamiento del extractor.	-Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Existe un switch de nivel alto. - Control visual del llenado y cierre manual de válvula en caso de mal funcionamiento.
MENOS	MENOS FLUJO	1. Válvula atascada en posición poco abierta. 2. Fallo del control de flujo.	- Cambio en las proporciones de la extracción.	-Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Control visual del llenado y apertura manual de válvula en caso de mal funcionamiento.



**ANÁLISIS HAZOP**

CLIENTE: UVA PLANTA: EXTRACCIÓN TANINOS SISTEMA: EXTRACTOR TA-101 TIPO OPERA.: EXTRACCIÓN DISCONT.	NODO Nº: 1 PLANO: PI-001 EQUIPO/LINEA: 1 1/2"-P-103-SS4 INTENCIÓN DISEÑO: SEGURIDAD	REV: 2 FECHA: 30/06/2015 POR: APP
---	--	---

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO	NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en el suministro de NaOH.	- La extracción no se lleva a cabo correctamente al no haber uno de los agentes extractores.	- Revisión periódica de las válvulas, de las tuberías y de los controladores. -Apertura manual de válvula.
MÁS	MÁS FLUJO	1. Válvula atascada abierta. 2. Fallo del control de flujo	- Cambio en las proporciones de la extracción al aumentar la concentración del disolvente.	-Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Control visual del llenado y cierre manual de válvula en caso de mal funcionamiento.
MENOS	MENOS FLUJO	1. Válvula atascada en posición poco abierta. 2. Fallo del control de flujo.	- No se lleva a cabo correctamente la extracción al disminuir la concentración de disolvente.	-Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Control visual del llenado y apertura manual de válvula en caso de mal funcionamiento.





**ANÁLISIS HAZOP**

CLIENTE: UVA PLANTA: EXTRACCIÓN TANINOS SISTEMA: EXTRACTOR TA-101 TIPO OPERA.: EXTRACCIÓN DISCONT.	NODO Nº: 1 PLANO: PI-001 EQUIPO/LINEA: 1 1/2"-P-101-SS4 INTENCIÓN DISEÑO: SEGURIDAD	REV: 3 FECHA: 30/06/2015 POR: APP
---	--	---

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO	NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en el suministro de pomada de uva.	- No se lleva a cabo la extracción por falta de materia prima para la extracción.	- Revisión periódica de las válvulas, de las tuberías y de los controladores. -Apertura manual de válvula.
MÁS	MÁS FLUJO	1. Válvula atascada abierta. 2. Fallo del control de flujo	- Cambio en las proporciones de la extracción. - Posible desbordamiento del extractor.	-Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Existe un switch de nivel alto. - Control visual del llenado y cierre manual de válvula en caso de mal funcionamiento.
MENOS	MENOS FLUJO	1. Válvula atascada en posición poco abierta. 2. Fallo del control de flujo.	- Cambio en las proporciones de los reactivos de la extracción.	-Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Control visual del llenado y apertura manual de válvula en caso de mal funcionamiento.



**ANÁLISIS HAZOP**

CLIENTE: UVA  
 PLANTA: EXTRACCIÓN TANINOS  
 SISTEMA: EXTRACTOR TA-101  
 TIPO OPERA.: EXTRACCIÓN DISCONT.

NODO Nº: 1  
 PLANO: PI-001  
 EQUIPO/LINEA: 1"-V-102b-SS4  
 INTENCIÓN DISEÑO: SEGURIDAD

REV: 3  
 FECHA: 30/06/2015  
 POR: APP

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO	NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en el suministro de vapor 4. Tubería atascada. 5. Fallo en el controlador.	- El extractor no alcanza la temperatura óptima para la extracción. - Salida de vapor al exterior.	- Revisión periódica de las válvulas, de las tuberías y de los controladores. - Apertura manual de válvula. - Ya existe una alarma de flujo bajo (FAL)
MÁS	MÁS FLUJO	1. Válvula atascada abierta. 2. Fallo del control de flujo	- Aumento de la presión y de la temperatura en el interior del extractor.	-Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Existe una salida para alivio de presión. - Existe un indicador de presión y otro de temperatura para que el operario pueda cerrar manualmente la válvula de vapor. - La válvula instalada es fallo-cierra.
	MÁS PRESIÓN	1. Fallo en la válvula de expansión.	- La tubería puede reventar.	- Ya existe una alarma de presión alta (PAH)
MENOS	MENOS FLUJO	1. Tubería rota 2. Fallo del controlador. 3. Tubería atascada.	- Idem NO FLUJO.	- Idem NO FLUJO.



Universidad de Valladolid

OBTENCIÓN DE TANINOS A PARTIR DE LA PEPITA DE UVA

12. ESTUDIO DE SEGURIDAD



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

### ANÁLISIS HAZOP

CLIENTE: UVA PLANTA: EXTRACCIÓN TANINOS SISTEMA: EXTRACTOR TA-101 TIPO OPERA.: EXTRACCIÓN DISCONT.	NODO Nº: 1 PLANO: PI-001 EQUIPO/LINEA: 1"-V-102b-SS4 INTENCIÓN DISEÑO: SEGURIDAD	REV: 3 FECHA: 30/06/2015 POR: APP
---	---	---

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
MENOS	MENOS PRESIÓN	1. Tubería rota 2. Suministro funciona mal.	- Cambio en la temperatura de condensación y en el calor que aporta.	- Revisión periódica de las tuberías y el suministro. - Existe un control de temperatura que calcula la cantidad de vapor a introducir en función de la temperatura interior del extractor.



**ANÁLISIS HAZOP**

CLIENTE: UVA  
 PLANTA: EXTRACCIÓN TANINOS  
 SISTEMA: EXTRACTOR TA-101  
 TIPO OPERA.: EXTRACCIÓN DISCONT.

NODO Nº: 1  
 PLANO: PI-001  
 EQUIPO/LINEA: ALIVIO DE PRESIÓN  
 INTENCIÓN DISEÑO: SEGURIDAD

REV: 3  
 FECHA: 30/06/2015  
 POR: APP

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO	NO FLUJO	1. Válvula atascada.	- Aumento de la presión interna del extractor.	- Revisión periódica de las válvulas y mantenimiento.
MENOS	MENOS FLUJO	1. Válvula parcialmente bloqueada porque el vapor ha podido arrastrar sólidos.	- Idem NO FLUJO.	- Idem NO FLUJO.



# 13. CONCLUSIONES



En este trabajo se ha **seleccionado y diseñado** un proceso a escala piloto para la **extracción** selectiva de **taninos** contenidos en la **pomada de uva**, con una capacidad de tratamiento de 18 kg/día de pomada de uva para producir 6.7 kg/día de licor tánico concentrado del 14% en peso. De acuerdo con los objetivos previamente establecidos, se procede a reseñar las conclusiones más relevantes.

- ✓ La información bibliográfica disponible respecto a la extracción de taninos procedentes de pomada de uva es escasa y de difícil comparación, ya que cada autor propone diferentes métodos y agentes extractores. Sin embargo, esta revisión ha permitido seleccionar las condiciones de operación de las etapas de extracción y concentración. El disolvente será agua con un ratio 1:8 y NaOH con relación del 15 % en peso. La extracción se llevará a cabo a 100°C y 2 bar de presión.
- ✓ La materia prima seleccionada para la extracción selectiva de taninos ha sido la pomada de uva (pepitas, hollejos y tallos de uva). Se ha elegido esta materia prima debido a su fácil disponibilidad, elevado contenido en taninos y como alternativa de valorización de un residuo de la industria vinícola.
- ✓ Los equipos óptimos para la correcta operación de la planta son: para la extracción sólido- líquido, un extractor discontinuo de tanque agitado; para la separación sólido-líquido, una centrifuga tubular de tipo tazón; para la concentración del licor tánico, un módulo de membranas de ultrafiltración de fibras huecas.
  - Con los datos disponibles, se ha podido dimensionar una planta piloto que opera en discontinuo. El extractor tiene un volumen de 50 L, dotado con un sistema de agitación de tipo turbina de 49.5 W de potencia y un sistema de inyección de vapor. En lo referido al diseño mecánico, el extractor está compuesto por una carcasa cilíndrica de 5 mm de espesor, un cerramiento plano superior de espesor 7 mm y un cerramiento inferior cónico con espesor de 5 mm.
  - El intercambiador de calor de carcasa y tubos para enfriar el licor tánico estará formado por 32 tubos de 1.83 m de longitud y 0.016 m de diámetro en el interior de una carcasa de 0.191 m de diámetro y empleará agua como refrigerante. Respecto al módulo de membranas, estará compuesto por 40 fibras huecas de polisulfona, con una longitud de 1.2 m y diámetro de 0.0125 m cada fibra.



13. CONCLUSIONES

- El rendimiento de la etapa de extracción es de 56.1 mg de taninos/g de materia seca de pomada de uva. El rendimiento global de recuperación de taninos en el proceso es del 20.63%.
  
- ✓ De la evaluación económica se concluye que la instalación tendría un coste total aproximado de 48000€. El licor tánico concentrado tendría que tener un precio de venta relativamente elevado (39.50 €/kg), como corresponde a un producto de alto valor añadido, para asegurar la rentabilidad de la planta. El análisis de sensibilidad pone de manifiesto que una bajada significativa, superior al 12%, en el precio de venta del licor tánico concentrado podría comprometer la inversión.
  
- ✓ En el ámbito ambiental, la planta no generaría ningún residuo contaminante, ya que todos los subproductos de la planta son tratados convenientemente. La pomada de uva agotada tendría fines comerciales (compostaje, carbón activo o combustible), mientras que el agua residual del proceso (permeado) tendría que someterse a un tratamiento biológico aerobio para poder ser vertida sin riesgo ni peligro medioambiental.
  
- ✓ La operación de la planta es segura, ya que se ha propuesto un sistema de control automático que asegura el correcto funcionamiento de la instalación, minimizando los posibles riesgos en la seguridad. Además, en la planta no se trabaja con sustancias peligrosas o que pongan en riesgo la salud de los trabajadores o de la población en general.
  
- ✓ La planta piloto diseñada resulta ser viable desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental. Esta planta piloto es un adecuado punto de partida para un posible escalado a nivel industrial.
  
- ✓ Como líneas futuras se proponen:
  - Ensayos de laboratorio para investigar posibles mejoras en las etapas de pretratamiento de la materia prima (molienda, secado, desengrasado, etc.) y de extracción: tipo de disolvente empleado, condiciones de operación (T, pH, relación disolvente:pomada, P, etc.), modo de operación (etapas múltiples, forma de contacto, etc).
  - Evaluación de otros métodos de concentración, que sean capaces de obtener un concentrado tánico con mayor proporción en taninos, sin comprometer la calidad del mismo.
  - Hacer un escalado a nivel industrial.

# 14. BIBLIOGRAFÍA



- [1] C. Alvarez A. and O. Lock de Ugaz, 'Taninos', *Revista de Química*, vol. 6, no. 1, pp. 47-63, 1992.
- [2] J. Garrido and F. Borges, 'Wine and grape polyphenols – A chemical perspective', *Food Research International*, vol. 54, no. 2, pp. 1844-1858, 2013.
- [3] L. Ping, A. Pizzi, Z. Ding Guo and N. Brosse, 'Condensed tannins extraction from grape pomace: Characterization and utilization as wood adhesives for wood particleboard', *Industrial Crops and Products*, vol. 34, no. 1, pp. 907-914, 2011.
- [4] H. Nawaz, J. Shi, G. Mittal and Y. Kakuda, 'Extraction of polyphenols from grape seeds and concentration by ultrafiltration', *Separation and Purification Technology*, vol. 48, no. 2, pp. 176-181, 2006.
- [5] V. Sant'Anna, A. Brandelli, L. Marczak and I. Tessaro, 'Kinetic modeling of total polyphenol extraction from grape marc and characterization of the extracts', *Separation and Purification Technology*, vol. 100, pp. 82-87, 2012.
- [6] C. Carrera, A. Ruiz-Rodríguez, M. Palma and C. Barroso, 'Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes', *Analytica Chimica Acta*, vol. 732, pp. 100-104, 2012.
- [7] M. Brahim, F. Gambier and N. Brosse, 'Optimization of polyphenols extraction from grape residues in water medium', *Industrial Crops and Products*, vol. 52, pp. 18-22, 2014.
- [8] T. Vatai, M. Škerget and Ž. Knez, 'Extraction of phenolic compounds from elder berry and different grape marc varieties using organic solvents and/or supercritical carbon dioxide', *Journal of Food Engineering*, vol. 90, no. 2, pp. 246-254, 2009.
- [9] G. Spigno, L. Tramelli and D. De Faveri, 'Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics', *Journal of Food Engineering*, vol. 81, no. 1, pp. 200-208, 2007.
- [10] J. M. Adzet Adzet, "Extracto tánico vegetal, procedimiento para su obtención y su utilización como agente de curtido de pieles.," Patente española 2 197 821, 23 Febrero, 2005

14. BIBLIOGRAFÍA

- [11] J. Coulson, J. Richardson and R.K. Sinnott, *Chemical Engineering, Volume 6*, 4th ed. Oxford [etc.]: Butterworth Heinemann, 2005.
- [12] D. Villanueva, 'Aplicaciones industriales de los taninos vegetales' [Online]. Disponible: <http://www.feng.pucrs.br/laboratorios/taninos/restrito/procesos-industriales.pdf>. [Acceso: 05- Abril- 2015].
- [13] H. Niemi and S. Palosaari, 'Calculation of permeate flux and rejection in simulation of ultrafiltration and reverse osmosis processes', *Journal of Membrane Science*, vol. 84, no. 1-2, pp. 123-137, 1993.
- [14] L. Istrati, D. Ciobanu, M. Harja and D. Ionaşcu, 'Researches regarding inorganic accelerators using in pomace fermenting process', *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, vol. 8, no. 2, pp. 241-248, 2007.
- [15] J. Coulson, J. Richardson, J. Backhurst and J. Harker, *Chemical Engineering, Volume 1*, 6th ed. Oxford [etc.]: Butterworth Heinemann, 1999.
- [16] J. Coulson, J. Richardson and J. Backhurst, *Chemical Engineering, Volume 2*, 5th ed. Oxford [etc.]: Butterworth Heinemann, 2002.
- [17] M. Soltanieh and W. Gill', 'REVIEW OF REVERSE OSMOSIS MEMBRANES AND TRANSPORT MODELS', *Chemical Engineering Communications*, vol. 12, no. 4-6, pp. 279-363, 1981.
- [18] G. Jonsson and C. Boesen, 'Water and solute transport through cellulose acetate reverse osmosis membranes', *Desalination*, vol. 17, no. 2, pp. 145-165, 1975.
- [19] Life tannins project. Preventing exploitation of forests by obtaining tannin extract from grape pips through recovery of a waste product of the wine industry (n.d.). *Layman's report*. Referencia: Life 04 ENV/ES/000237
- [20] M. Belgacem and A. Gandini, *Monomers, polymers and composites from renewable resources*. Amsterdam: Elsevier, 2008, pp. 179–199.
- [21] K. Khanbabaee and T. van Ree, 'Tannins: Classification and Definition', *Nat. Prod. Rep.*, vol. 18, no. 6, pp. 641-649, 2001.
- [22] K. Humphreys and P. Wellman, *Basic cost engineering*, 3rd ed. New York: M. Dekker, 1996.

- [23] F. Clark, A. Lorenzoni and M. Jimenez, *Applied cost engineering*. New York: Marcel Dekker, 1997.
- [24] J. Page, *Conceptual cost estimating manual*. Houston, TX: GPP, 1996.
- [25] S. Nakao and S. Kimura, 'Analysis of solutes rejection in ultrafiltration.', *Journal of Chemical Engineering of Japan*, vol. 14, no. 1, pp. 32-37, 1981.
- [26] R. Perry, D. Green and J. Maloney, *Perry's Chemical engineers' handbook*, 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
- [27] P. Rondeau, F. Gambier, F. Jolibert and N. Brosse, 'Compositions and chemical variability of grape pomaces from French vineyard', *Industrial Crops and Products*, vol. 43, pp. 251-254, 2013.
- [28] E. Carmona, M. Moreno, M. Avilés and J. Ordovás, 'Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings', *Scientia Horticulturae*, vol. 137, pp. 69-74, 2012.
- [29] [11]J. Isaza M., 'TANINOS O POLIFENOLES VEGETALES', *Scientia et Technica Año XIII*, no. 33, pp. 13-18, 2007.
- [30] A. Vázquez-Flores, E. Alvarez-Parrilla, J. López-Díaz, A. Wall-Medrano and L. A. de la Rosa, 'Hydrolyzable and condensed tannins: chemistry, advantages and disadvantages of their intake', *Tecnociencia Chihuahua*, vol., no. 2, pp. 84-93, 2012.
- [31] X. Guo, H. Shao, W. Hu, W. Gao and X. Chen, 'Tannin and polyacrylic acid polarity and structure influence on the performance of polyvinylchloride ultrafiltration membrane', *Desalination*, vol. 250, no. 2, pp. 740-744, 2010.
- [32] J. Wijmans, S. Nakao and C. Smolders, 'Flux limitation in ultrafiltration: Osmotic pressure model and gel layer model', *Journal of Membrane Science*, vol. 20, no. 2, pp. 115-124, 1984.
- [33] Aguasdevalladolid.com, 'Tus tarifas', 2015. [Online]. Disponible: <http://www.aguasdevalladolid.com/ESP/125.asp>. [Acceso: 13- Jun- 2015].

14. BIBLIOGRAFÍA

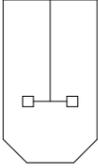
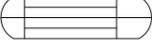
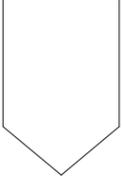
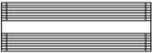
- [34] 'Dirección general de protección civil'. [Online]. Disponible: <http://www.proteccioncivil.es/documents/11803/22691/GUIA+TECNICA+METODOS+QUALITATIVOS+PARA+EL+ANALISIS+DE+RIESGO.pdf>. [Acceso: 25-Jun- 2015].
- [35] Lenntech.es, 'Tratamiento y purificación del agua - Lenntech', 2015. [Online]. Disponible: <http://www.lenntech.es/>. [Acceso: 23- Jun- 2015].
- [36] Merckmillipore.com, 'Merck Millipore | Ciencias de la vida | Productos químicos industriales y de laboratorio | Tienda virtual', 2015. [Online]. Disponible: <http://www.merckmillipore.com/ES/es?bd=1>. [Acceso: 11- Jun- 2015].
- [37] Dow.com, 'The Dow Chemical Company - Home', 2015. [Online]. Disponible: <http://www.dow.com/>. [Acceso: 30- Jun- 2015].
- [38] E. Romero-Dondiz, J. Almazán, V. Rajal and E. Castro-Vidaurre, 'Removal of vegetable tannins to recover water in the leather industry by ultrafiltration polymeric membranes', *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 93, pp. 727-735, 2015.
- [39] X. Guo, Q. Li, W. Hu, W. Gao and D. Liu, 'Ultrafiltration of dissolved organic matter in surface water by a polyvinylchloride hollow fiber membrane', *Journal of Membrane Science*, vol. 327, no. 1-2, pp. 254-263, 2009.
- [40] C. Galanakis, 'Separation of functional macromolecules and micromolecules: From ultrafiltration to the border of nanofiltration', *Trends in Food Science & Technology*, vol. 42, no. 1, pp. 44-63, 2015.
- [41] Alibaba.com, 'Hollow Fiber Membrane, Hollow Fiber Membrane Suppliers and Manufacturers at Alibaba.com', 2015. [Online]. Disponible: <http://www.alibaba.com/showroom/hollow-fiber-membrane.html>. [Acceso: 31- Jun- 2015].
- [42] H. Machine, '[Hot Item] High-Speed Tubular Bowl Centrifugal Centrifuge Separator Machine', *Made-in-China.com*, 2015. [Online]. Disponible: <http://www.made-in-china.com/showroom/2b06d441e910cf2b/product-detailDqXxJoGjAwRy/China-High-Speed-Tubular-Bowl-Centrifugal-Centrifuge-Separator-Machine.html>. [Acceso: 01- Jul- 2015].

# 15. ANEXOS

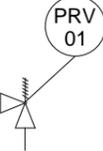


# ANEXO I. DIAGRAMAS

### EQUIPOS

-  EXTRACTOR DE TANQUE AGITADO
-  CENTRIFUGA DE TAZÓN TUBULAR
-  INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS
-  TANQUE DE ALMACENAMIENTO
-  MÓDULO DE MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN
-  BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
-  BOMBA CENTRÍFUGA

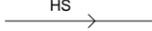
### VÁLVULAS Y ACCESORIOS

-  VÁLVULA
-  VÁLVULA DE CONTROL
-  VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN
-  DRENAJE
-  SUMIMEDO
-  AISLAMIENTO DE PROTECCIÓN
-  AISLAMIENTO
-  VÁLVULA ON/OFF
-  AGUJERO PARA MANO
-  ROMPE VÓRTICES
-  VÁLVULA ANTIRRETORNO
-  LÍNEA INCLINADA
-  BRIDA
-  VENTEO
-  MEDIDOR DE PRESIÓN
-  INYECTORES DE VAPOR

### INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

-  TRANSMISOR DE PRESIÓN, TEMPERATURA, NIVEL, FLUJO O COMPOSICIÓN
-  CONTROLADOR DE PRESIÓN, TEMPERATURA, NIVEL, FLUJO O COMPOSICIÓN
-  VÁLVULA DE CONTROL
-  PLC
-  SWITCH DE NIVEL: L (BAJO), H (ALTO)
-  INDICADOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL
-  CÁLCULO DE FLUJO O TEMPERATURA
-  PLC EN CAMPO
-  PLC EN PANEL
-  INSTRUMENTO EN CAMPO
-  INSTRUMENTO EN PANEL

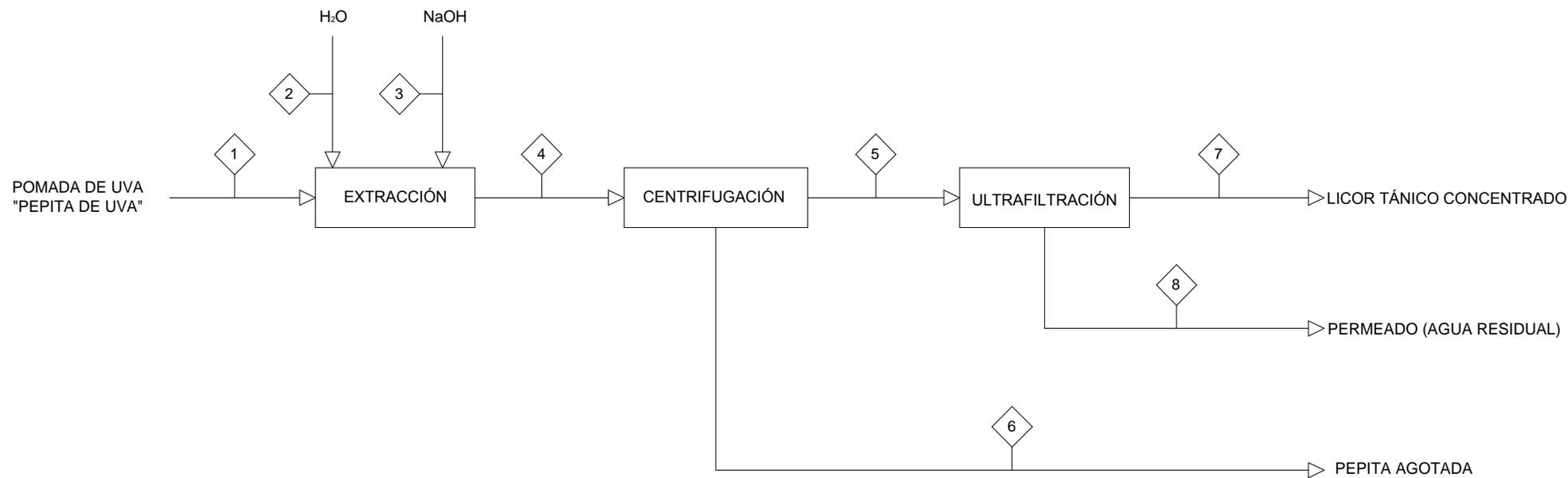
### LÍNEAS

-  LÍNEA DE AGUA
-  LÍNEA DE POMADA
-  LÍNEA DE HIDRÓXIDO DE SODIO
-  LÍNEA DE MEZCLA POMADA-DISOLVENTE
-  LÍNEA DE LICOR TÁNICO
-  LÍNEA DE LICOR TÁNICO CONCENTRADO
-  LÍNEA DE AGUA RESIDUAL
-  LÍNEA DE POMADA AGOTADA
-  LÍNEA DE VAPOR
-  SEÑAL DE CONTROL

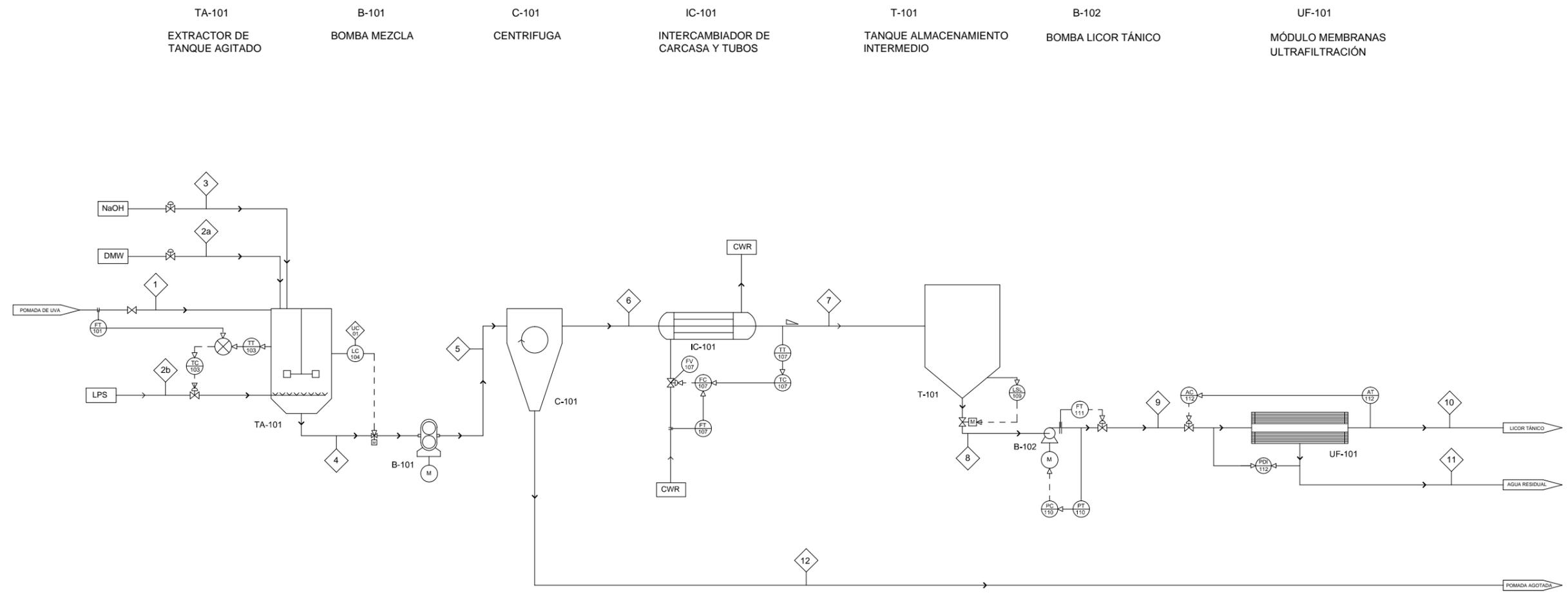
### ABREVIATURAS

- LPS VAPOR DE BAJA PRESIÓN
- DMW AGUA DESIONIZADA
- CWR AGUA DE REFRIGERACIÓN

FECHA	03/07/15				<b>PLANTA PARA LA EXTRACCIÓN DE TANINOS DE POMADA DE UVA</b>
POR	APP				
Diagrama	Título				
<b>1</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>				
Standard					PFD
ANSI					REVISIÓN
Autor	Álvaro Paniagua Páez				<b>1</b>
DIAGRAMA 0					Tamaño: A3

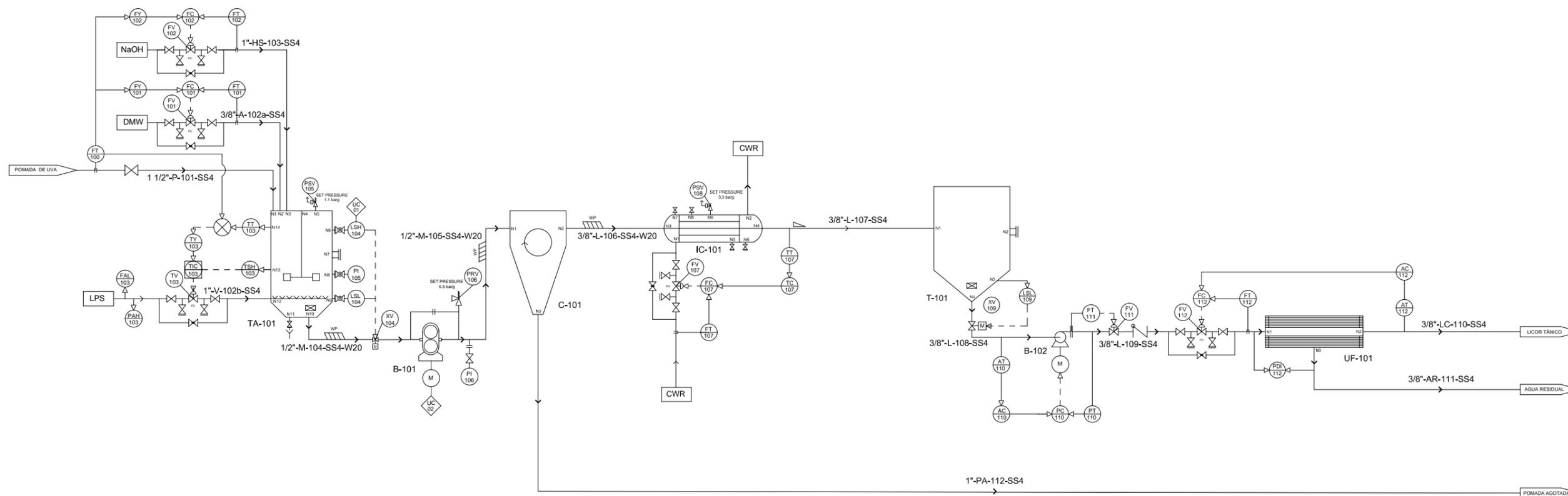


FECHA	06/06/15	03/07/15			PLANTA PARA LA EXTRACCIÓN DE TANINOS DE POMADA DE UVA
POR	APP	APP			
Diagrama	Título				
<b>1</b>	<b>DIAGRAMA DE BLOQUES</b>				
Standard ANSI					
Autor	Álvaro Paniagua Páez				BD
					REVISIÓN
					<b>2</b>
BD-001-2					Tamaño: A4



Corriente	1	2a	2b	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
De	Alim. Pomada	Alim. Agua	-	Alim. NaOH	TA-101	B-101	C-101	IC-101	T-101	B-102	UF-101	UF-101	C-101
Hacia	TA-101	TA-101	TA-101	TA-103	B-101	C-101	IC-101	T-101	B-102	UF-101	Alma. Tanino	Trat. Agua	Alma. Residuo
P,barg	0,00	0,00	2,00	0,00	0,30	2,00	2,00	2,00	0,00	2,00	1,50	0,00	2,00
Tª, °C	15,00	15,00	133,52	15,00	100,00	100,00	100,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	100,00
<b>Flujo, kg/día</b>													
Taninos	4,541	0,000	0,000	0,000	4,541	4,541	0,946	0,946	0,946	0,946	0,937	0,009	3,594
Agua	1,368	125,048	20,840	0,000	147,256	147,256	117,805	117,805	117,805	117,805	5,755	112,050	29,451
NaOH	0,000	0,000	0,000	2,530	2,530	2,530	2,024	2,024	2,024	2,024	0,000	2,024	0,506
Otros Solidos	12,328	0,000	0,000	0,000	12,328	12,328	1,233	1,233	1,233	1,233	0,000	1,233	11,095
Total	18,236	125,048	20,840	2,530	166,654	166,654	122,008	122,008	122,008	122,008	6,692	115,316	44,646
<b>Composición. %peso</b>													
Taninos	24,900	0,000	0,000	0,000	2,725	2,725	0,776	0,776	0,776	0,776	14,000	0,008	8,051
Agua	7,500	100,000	100,000	0,000	88,360	88,360	96,555	96,555	96,555	96,555	86,000	97,167	65,965
NaOH 15%	0,000	0,000	0,000	100,000	1,518	1,518	1,659	1,659	1,659	1,659	0,000	1,755	1,133
Solidos	67,600	0,000	0,000	0,000	7,397	7,397	1,010	1,010	1,010	1,010	0,000	1,069	24,850
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

FECHA	27/05/15	24/06/15	30/06/15		PLANTA PARA LA EXTRACCIÓN DE TANINOS DE POMADA DE UVA
POR	APP	APP	APP		
Diagrama	Título				
<b>1</b>	<b>DIAGRAMA DE FLUJO</b>				
Standard ANSI					
Autor	Álvaro Paniagua Páez				PFD
					REVISIÓN
					<b>3</b>
PFD-001-3				Tamaño: A3	



TA-101 EXTRACTOR	
D (mm)	350
L (mm)	520
P DISEÑO (barg)	1.1
T DISEÑO (°C)	120
MATERIAL	ACERO INOX.

B-101 BOMBA	
Q (kg/s)	0.35
ΔP (bar)	1
TYPE	DESPL. POSITIVO

IC-101 INTERCAMBIADOR CALOR	
DUTY (kJ/s)	64
L (mm)	200
P DISEÑO (barg)	3.5
T DISEÑO (°C)	150
MATERIAL	ACERO INOX.

B-102 BOMBA	
Q (kg/s)	0.26
ΔP (bar)	3
TYPE	CENTRIFUGA

UF-102 MEMBRANAS UF	
MAX ΔP (barg)	2
T DISEÑO (°C)	50
L (mm)	1200
Nº FIBRAS	40
MATERIAL	POLISULFONA
TIPO	FIBRAS HUECAS

- EQUIPOS:
1. TA-101
  2. B-101
  3. C-101
  4. IC-101
  5. T-101
  6. B-102
  7. UF-101

FECHA	04/06/15	18/06/15	30/06/15	03/07/15	PLANTA PARA LA EXTRACCIÓN DE TANINOS DE POMADA DE UVA
POR	APP	APP	APP	APP	
Diagrama	Título				
<b>1</b>	<b>DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS</b>				
Standard	ANSI				P & ID
Autor	Álvaro Paniagua Páez				REVISIÓN
					<b>4</b>
PID-001-4					Tamaño: A3

# ANEXO II. TABLAS Y GRÁFICOS



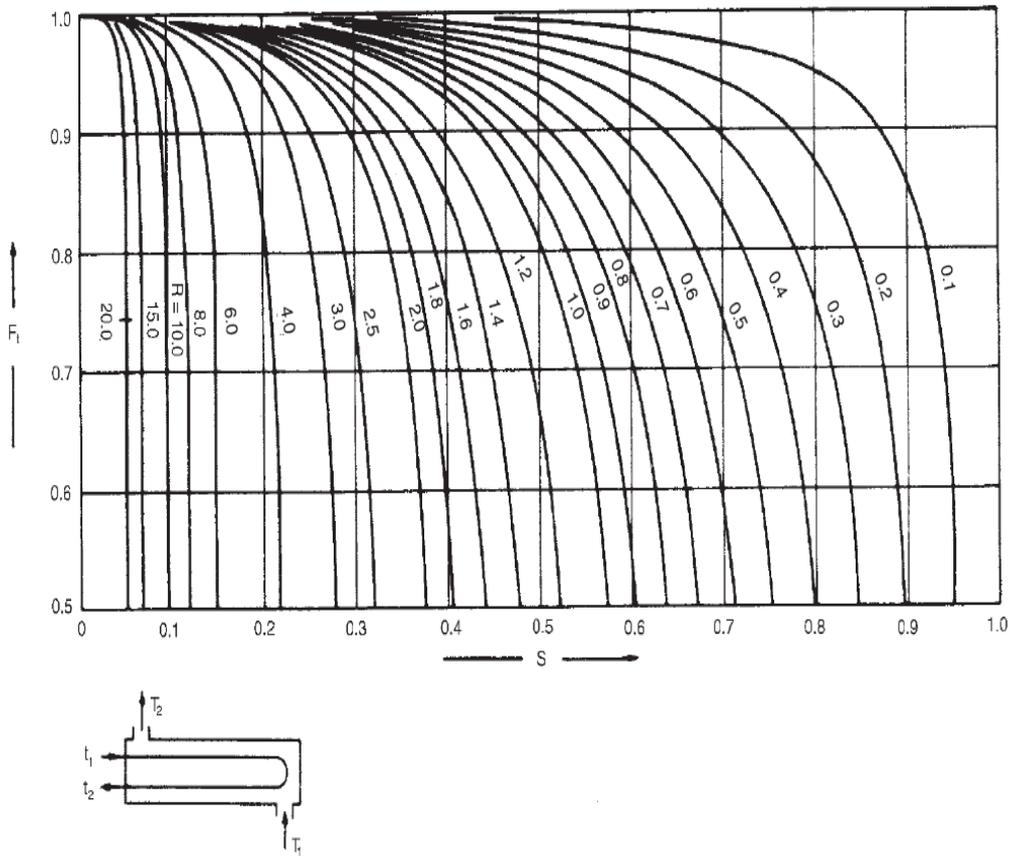
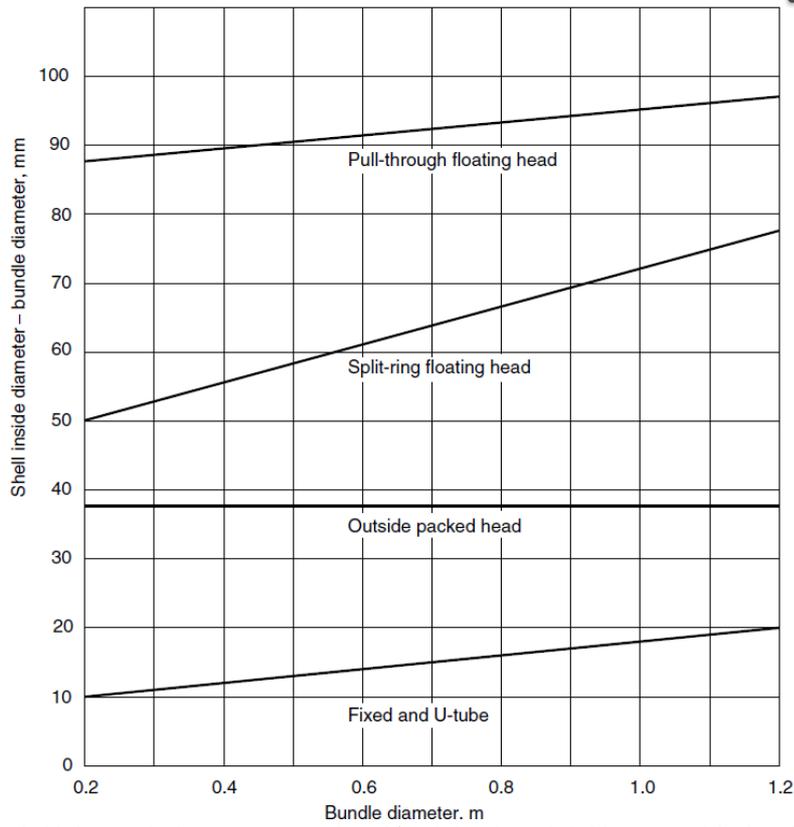


Gráfico 1. Factor corrección de temperatura: un paso por carcasa y dos o número par de paso por tubos.

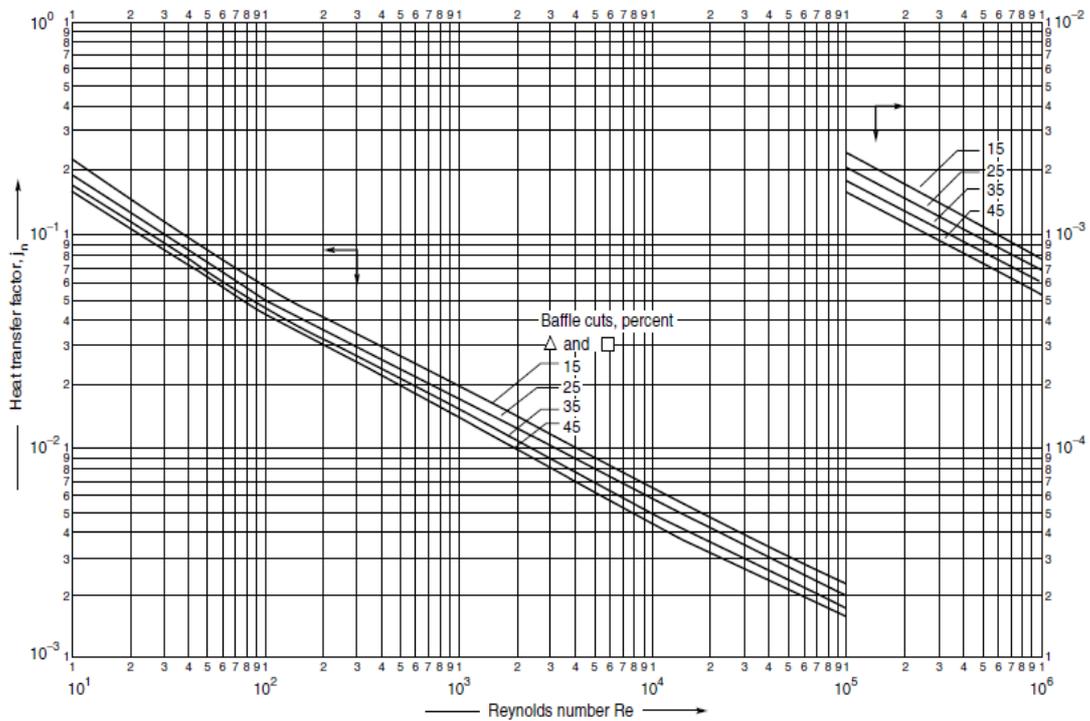
Al tresbolillo o triangular, $P = 1.25 \cdot d$					
$t$	$o$				
Nº pasos por los tubos	1	2	4	6	8
$K$	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$n$	2.142	2.207	2.285	5.499	2.675
Cuadrada, $P = 1.25 \cdot d$					
$t$	$o$				
Nº pasos por los tubos	1	2	4	6	8
$K$	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
$n$	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Tabla 1. Factores  $k_1$  y  $n_1$  según la distribución de la bancada de tubos.

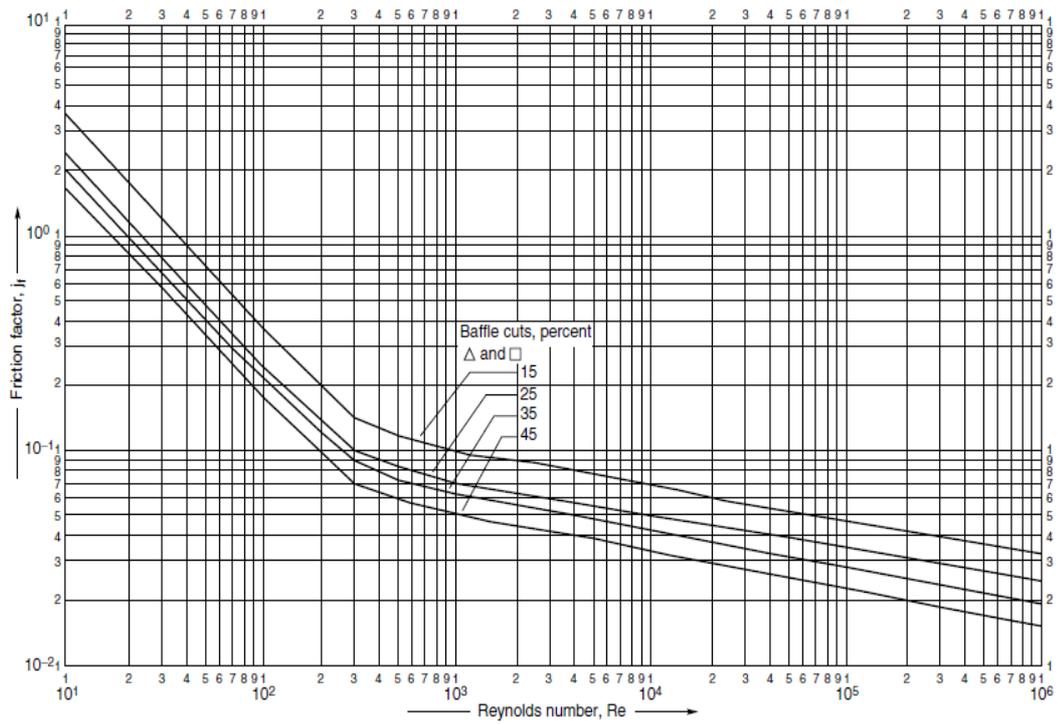
15. ANEXOS



Gráfica 2. Holgura de la carcasa en función del cabezal del intercambiador de calor.



Gráfica 3. Factor individual de transmisión de calor del lado de la carcasa ( $j_n$ ) en función del número de Reynolds y el corte de los "baffles".



Gráfica 4. Factor de fricción ( $j_f$ ) para el cálculo de la caída de presión del lado de la carcasa en función del Reynolds y el “baffle cut”.



# ANEXO III. SEGURIDAD



### **A) Golpes y contactos con objetos cortantes o punzantes**

Los factores que ocasionan comúnmente estos accidentes son el uso de herramientas inapropiadas a la tarea, la utilización inexperta o descuidada por parte del usuario, el mal estado de la herramienta o el incorrecto almacenamiento y/o transporte.

Medidas preventivas:

- Todas las cuchillas o filos cortantes irán provistos de moldura en su mango, de forma que se evite el deslizamiento de la mano hasta la hoja de corte. No se utilizarán herramientas con mangos astillados o rajados, ni aquellas con una unión defectuosa entre hoja de corte y mango.
- El transporte de herramientas u otros objetos cortantes o punzantes se realizará en estuches o fundas de protección.
- La limpieza de cuchillas y filos cortantes se realizará siempre apoyando el filo sobre una superficie plana, actuando primero sobre una cara y después sobre la otra. Nunca se limpiará directamente el filo de la herramienta.
- El personal expuesto utilizará guantes o manoplas para proteger sus manos, así como ropa de trabajo adecuada para evitar cortes en el cuerpo.

### **B) Golpes choques y atrapamientos por objetos en movimiento**

Los trabajos desarrollados con maquinaria que posee elementos móviles conllevan riesgos de golpes, choques y atrapamientos entre las partes fijas y móviles de la máquina, muchas veces por la necesidad de realizar ajustes, o simplemente durante su uso.

Medidas preventivas:

- Los equipos se mantendrán en buen estado de conservación y se utilizarán tal y como esté previsto por el fabricante. Siempre dispondrán de sus correspondientes dispositivos de protección.
- Los operarios sólo podrán interactuar con aquellas máquinas o equipos para los que se encuentren autorizados, no retirando nunca los dispositivos o resguardos de protección con los que vienen equipados.

- Los dispositivos de parada de emergencia deberán provocar la detención inmediata del movimiento peligroso correspondiente y deberán ser fácilmente accesibles por el trabajador en peligro.
- Los mandos de equipos y máquinas estarán dispuestos de forma que el operario pueda distinguirlos y alcanzarlos fácilmente, sin que su manipulación entrañe ningún peligro.
- Al objeto de evitar el acceso con las manos a zonas peligrosas de los equipos para empujar, introducir o retirar piezas y en la eliminación de residuos, se utilizarán elementos auxiliares específicos previstos para ello, como pinzas o ganchos que garanticen una distancia de seguridad suficiente.
- Las máquinas no serán manipuladas en funcionamiento. Antes de realizar cualquier operación de reparación o mantenimiento (limpieza, engrases etc.) se procederá a la desconexión de la máquina de la corriente, asegurando que no existe posibilidad de que entre en funcionamiento accidentalmente.
- Antes de comenzar a trabajar con una máquina es preciso asegurarse de que las protecciones están en su lugar y los dispositivos de emergencia funcionan correctamente. Los trabajadores deberán ser instruidos en la realización de las inspecciones que les correspondan y en la forma de actuar cuando encuentren deficiencias.

### **C) Golpes y atropellos causados por vehículos**

La circulación de vehículos en los espacios de trabajo puede producir golpes o atropellos, por lo que es necesario tener presentes las medidas preventivas que se adoptarán en lo referente a la circulación simultánea de vehículos (coches, carretillas elevadoras, dúmpers...) y peatones por la planta.

Medidas preventivas:

- Deberá realizarse la señalización de las vías de paso, para evitar que vehículos y peatones circulen por el mismo lugar.
- Para entrar y salir de la planta el peatón utilizará siempre las puertas de acceso peatonales.
- Los conductores de carretillas deberán:
  - Circular únicamente por los pasillos establecidos, que han de encontrarse debidamente señalizados, siempre a velocidad moderada.
  - Prohibir comportamientos imprudentes durante el manejo del vehículo.

- Comprobar diariamente el estado y correcto funcionamiento de los elementos de seguridad de la carretilla (dirección, bocina, freno de inmovilización y servicio, horquilla, sistema de elevación e inclinación, fugas de aceite, neumáticos etc.), y notificar cualquier anomalía observada.
- Durante las pausas o paradas con ausencia del conductor, la carretilla deberá quedar aparcada de forma que no suponga ningún obstáculo, con el motor parado y la llave retirada, la horquilla baja (apoyada en el suelo), los mandos en punto muerto y el freno de inmovilización puesto.
- Los trabajadores que vayan a desarrollar entre sus funciones las de conducción de carretillas, dúmpers u otros, recibirán la formación adecuada en lo referente.
- Tanto peatones como vehículos deberán respetar la señalización de seguridad en lo referente a la circulación (¡Precaución!, Circulación de vehículos, pasillo para peatones etc.)

#### **D) Golpes producidos por caídas al mismo nivel**

Factores que comúnmente provocan este tipo de accidentes son tropiezos (por obstáculos en las vías de paso, mal estado del pavimento) o resbalones, (derrames de grasas u otros productos) que fácilmente pueden ser evitados tomando las medidas preventivas adecuadas.

Medidas preventivas:

- Las vías de circulación de los lugares de trabajo tanto las situadas en el exterior de los edificios como en el interior de los mismos incluidas las puertas pasillos escaleras rampas y muelles de carga, deberán poder utilizarse conforme a su uso previsto, de forma fácil y con total seguridad para las personas que circulen por ellas, evitando todo tipo de irregularidades (bordes de moquetas pronunciados, baldosas sueltas, etc.).
- Los puestos de trabajo se mantendrán limpios y ordenados. Los envases se mantendrán convenientemente cerrados y en sus recipientes originales, evitando derrames y vertidos (aceite, grasa, agua...). Si se produjeran, se retirarán y se limpiará la zona de forma adecuada de inmediato. Las cajas se almacenarán sobre estantes o paletas, protegidas de la humedad, evitando derrumbes.



- La señalización de desniveles u obstáculos que originen riesgos de caída o choque se realizará por pintado del suelo u obstáculo con rayas amarillas y negras oblicuas a 45°.
- Las salidas de emergencia, pasillos de circulación, puertas y escaleras deben mantenerse convenientemente señalizados e iluminados, además de despejados de materiales (cajas, productos, máquinas...) que obstruyan estas vías y dificulten su uso en caso de emergencia.
- Se utilizará calzado de seguridad con características antideslizantes, y siempre que exista la necesidad se procederá a la colocación de suelo antideslizante.

### **E) Golpes producidos por caídas a distinta altura**

El origen de este tipo de accidentes se encuentra en las mismas causas que provocan las caídas al mismo nivel (tropiezos, resbalones), además de posibles mareos o vértigos, mal estado de las protecciones colectivas (barandillas y otros) o el uso inadecuado de las protecciones para trabajos en altura (arneses, EPI's).

Medidas preventivas:

- Se consideran de utilidad todas las medidas indicadas para caídas al mismo nivel, relativas al orden limpieza y señalización, ya que suponen medidas de prevención frente a tropiezos, resbalones o pérdidas de equilibrio en altura.
- En todos los trabajos que impliquen el posicionamiento, tránsito o estancia en altura (>2 m), será preceptiva la instalación de una protección colectiva eficaz que garantice la eliminación del riesgo de caída desde altura, entendiéndose como tal la instalación de barandillas rígidas, fijas y reglamentarias de protección en el perímetro de las estructuras como balsas, tanques, decantadores y en plataformas de trabajo.
- El uso de arnés de seguridad anclado a un punto fijo y seguro será necesario en los lugares carentes de protección perimetral.

### **F) Golpes por objetos proyectados**

El riesgo de proyección de partículas o productos químicos se puede producir en diversas zonas de la instalación (por rotura en elementos de máquinas o equipos, con proyección de virutas o salpicaduras de líquidos), pudiéndose

evitar en la mayoría de los casos si se dota a las instalaciones de resguardos de seguridad y si se utilizan los equipos de protección individual adecuados.

Medidas preventivas:

- Se dotará siempre que sea posible a los resguardos de protección de interruptores que impidan la puesta en marcha de la máquina cuando las protecciones no estén colocadas correctamente.
- Se extremarán las medidas de seguridad en la manipulación de productos químicos protegiéndose con gafas o pantallas específicas los posibles riesgos de proyección de sustancias u objetos que puedan tener lugar.

### **G) Contactos eléctricos**

Las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico están reguladas por el RD 614/2001. Del estado de conservación en que se encuentren las instalaciones eléctricas y de su adecuada utilización, depende la seguridad de los trabajadores en sus distintos puestos de trabajo. Entre los riesgos más comunes en lo referente, se encuentran las posibles quemaduras, propagación de incendios o electrocución.

Medidas preventivas:

- Ningún operario no cualificado deberá manipular el interior de un cuadro eléctrico.
- Los mantenimientos realizados en el interior de las instalaciones eléctricas se realizarán siempre por personal cualificado, estando siempre presente un segundo trabajador para auxiliar al primero en caso de accidente.
- Se evitará sobrecargar las tomas de corriente conectando varios en una misma toma. Las carcasas de los equipos se conectarán a una toma de tierra.
- En caso de avería o anomalía en una máquina se cortará la corriente como primera medida de seguridad. En ningún caso utilizar la máquina averiada hasta después de su reparación.
- Los cuadros eléctricos también poseen riesgo de incendio, por lo que será obligatorio la instalación de extintores adecuados al tipo de fuego previsible, junto a cada punto potencialmente peligroso, cuidando en



todo momento su puesta a punto y realizando las revisiones oportunas.

- En los puestos de trabajo (y sus proximidades) en que puedan producirse atmósferas inflamables la instalación eléctrica y equipos utilizados (tendido, luminarias y máquinas eléctricas) deberán ser conformes con las prescripciones particulares para las instalaciones de locales con riesgo de incendio o explosión indicadas en la reglamentación electrotécnica.

## H) Exposición a ruido y vibraciones

El ruido estará a la operación de los equipos, como puede el motor de la agitación, los sistemas de bombeo, etc.

Medidas preventivas:

De acuerdo con el RD 286/2006 relativo a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente al ruido, las actuaciones a realizar son:

- Se evaluarán los niveles de exposición diarios identificando la posible exposición de los trabajadores a niveles superiores a 80 dB. Se controlarán los niveles de ruido superiores puesto que además de provocar a los trabajadores expuestos problemas físicos de oído, inhiben la comunicación hablada, enmascaran señales de advertencia acústica e incrementan la tasa de errores en las funciones desempeñadas.
- Se confinarán los compresores en espacios aislados y se evitarán los escapes de aire a presión mediante el uso de silenciadores.
- Se llevará a cabo el tratamiento acústico de paredes y techos utilizando material absorbente en los lugares señalados como principales fuentes de ruido: sala de compresores, sala de calderas.
- Las zonas en las que los niveles diarios de exposición a ruido superen los 85 dB serán debidamente señalizadas advirtiendo del riesgo existente.
- Será obligatorio el uso de los EPI's auditivos en los puestos que superen los 85 dB (tapones, cascos, orejeras).

## I) Contactos con productos o entornos a temperaturas extremas

Existirá riesgo de exposición a temperaturas extremas tanto en trabajos al aire libre en condiciones climáticas adversas por frío o calor, como en trabajos en recintos cerrados en los que se alcancen temperaturas elevadas.

Medidas preventivas:

- Para trabajos al aire libre con exposición a altas temperaturas se pondrá a disposición del trabajador gorras o parasoles para evitar el contacto directo con el sol por largos períodos de tiempo, así como ropa de trabajo adecuada, de tejido transpirable y color claro.
- En el caso de recintos cerrados que alcancen temperaturas elevadas como la sala de calderas, se instalarán equipos de climatización o ventilación forzada que mantengan las condiciones de temperatura y humedad en los límites establecidos en el RD 486/1997 cuando existan puestos permanentes. Si no fuera posible, se permanecerá en estos espacios sólo el tiempo necesario para realizar las tareas encomendadas, realizando descansos en ambientes más frescos.
- Deberán protegerse mediante alejamiento o aislamiento todos los puntos a alta temperatura susceptibles de ser tocados por el personal. Cuando no sea posible la colocación de cubiertas aislantes del calor se señalará adecuadamente el peligro.
- Frente a exposición a bajas temperaturas, se proporcionará ropa de trabajo adecuada, cuyo aislamiento térmico sea suficiente para contrarrestar el frío exterior de acuerdo con lo establecido en la norma UNE ENV ISO 11079. Se deberá cambiar la ropa en el momento en que se moje o humedezca, y se limitará el tiempo de permanencia en ambientes fríos.

## J) Sobreesfuerzos físicos

Frecuentemente debidos a posturas forzadas, movimientos repetitivos y manipulación manual de cargas.

Medidas preventivas:

- Se identificarán y evaluarán ergonómicamente los factores de riesgo en la manipulación de cargas, el uso de herramientas o en las tareas que exijan posturas forzadas o movimientos repetitivos.

- Los trabajadores recibirán formación e información sobre los riesgos de sobreesfuerzo en su puesto de trabajo como base de la participación activa de todos los implicados en su prevención.
- Se automatizarán las tareas que requieran de mayor esfuerzo físico y con mayor tendencia a los movimientos repetitivos.

### **K) Exposición a condiciones ergonómicas de iluminación**

Una iluminación deficiente no sólo puede provocar la aparición de fatiga visual, problemas en los ojos (sequedad, picor o escozor), dolor de cabeza, cansancio y otros, también se aumenta la posibilidad de que los trabajadores cometan errores y de que se produzcan accidentes.

Medidas preventivas:

- Se dotará a los diferentes lugares de la instalación con los niveles adecuados de iluminación, siempre cumpliendo con los mínimos que se establecen en el RD 486/1997 sobre lugares de trabajo.
- Se llevará a cabo un correcto mantenimiento de las lámparas y luminarias reponiendo inmediatamente las lámparas fundidas. Para evitar que la suciedad disminuya la aportación de flujo luminoso se realizarán limpiezas periódicas.
- En el caso de zonas ATEX, las luminarias o portátiles serán obligatoriamente antideflagantes y aptas para trabajar en atmósferas explosivas.
- Se limitarán las programaciones de tareas de mantenimiento a realizar por la noche, favoreciendo que se realicen durante el día.

### **L) Exposición a agentes químicos, incendios y explosiones**

En la planta, se utilizan sustancias y preparados químicos peligrosos, como puede ser el hidróxido sódico. Además en algunos procesos pueden generarse vapores o nubes de polvo que de no ser controlados y manipulados de forma apropiada pueden causar efectos adversos para la salud de los trabajadores, o ser causa de incendio o explosión.