

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES Y ESCUELA
POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE
FABRICACIÓN DE JABÓN A PARTIR DE
ACEITES VEGETALES USADOS**

Junio 2014

Carmen E. Guerrero González



DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE JABÓN A PARTIR DE ACEITES VEGETALES USADOS

Autora: Carmen E. Guerrero González

Tutor/a: M^a del Carmen Cerón García, Asterio Sánchez Mirón

Junio de 2014

OBJETO DEL PROYECTO:

Diseñar una instalación para el tratamiento de aceites vegetales usados (AVUs) procedentes de frituras y su posterior conversión en un jabón líquido.

CENTRO:

Facultad de Ciencias Experimentales y Escuela Politécnica Superior

DEPARTAMENTO:

Ingeniería Química

NOMBRE DEL ALUMNO:

Carmen E. Guerrero González

TITULACIÓN:

Ingeniero Químico (Plan 1999)

FECHA:

Junio 2014

DIRECTOR/ES:

Asterio Sánchez Mirón y M^a del Carmen Cerón García



Origen: Área de Ingeniería Química Universidad de Almería
Destinatario: Proceso de trabajo de fin de titulación

Dña. M^a del Carmen Cerón García, como profesora Titular del área de Ingeniería Química y Asterio Sánchez Mirón como profesor Titular del mismo área Directores ambos del proyecto de la alumna Carmen Guerrero González autora del proyecto denominado **“Diseño de una Planta de Fabricación de Jabón a partir de aceites vegetales usados”** de la titulación de Ingeniero Químico

Autorizan

Su presentación y defensa ante el tribunal de proyectos de la titulación de Ingeniero Químico en la Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales

Almería, a 25 de junio de 2014

Fdo. M^a Carmen Cerón García

Fdo. Asterio Sánchez Mirón

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todas las personas que han estado a mi lado en este tren de largo recorrido.
A mis amigos/as, a mi familia, a mi novio, a mis compañeros/as de carrera, a mis compañeros/as de trabajo, a todos aquellos que en algún momento de mi vida se cruzaron en mi camino.

A mis profesores y tutores.

A esas dos estrellas que me guían a diario.

Gracias a todos...

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA

MEMORIA JUSTIFICATIVA

MEMORIA DESCRIPTIVA

DOCUMENTO Nº 2. ANEJOS

ANEJO 1: UBICACIÓN

ANEJO 2: BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

ANEJO 3: CINÉTICA DE REACCIÓN QUÍMICA

ANEJO 4: DISEÑO DE EQUIPOS E INSTALACIONES

ANEJO 5: INSTRUMENTACIÓN, TUBERÍAS Y ACCESORIOS

ANEJO 6: SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO

ANEJO 7: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

ANEJO 8: SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL

DOCUMENTO Nº3. PLANOS

PLANO 1. UBICACIÓN DE LA PLANTA EN EL POLIGONO INDUSTRIAL "EL REAL"

PLANO 2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

PLANO 3. DIAGRAMA DE FLUJO

PLANO 4. DIAGRAMA DE GANTT

PLANO 5. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS

DOCUMENTO Nº 4. PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO Nº 5. EVALUACIÓN ECONÓMICO-FINANCIERA

DOCUMENTO N° 1.

MEMORIA

ÍNDICE DEL DOCUMENTO N° 1

MEMORIA JUSTIFICATIVA

MEMORIA DESCRIPTIVA

MEMORIA

JUSTIFICATIVA

ÍNDICE

MEMORIA JUSTIFICATIVA

1. ANTECEDENTES	13
1.1. INTRODUCCIÓN. EL JABÓN	13
1.1.1. Definición del jabón. Tipos de jabones	13
1.1.2. ¿Cómo limpian los jabones?	16
1.2. FUENTES DE OBTENCIÓN. FABRICACIÓN DE JABONES	17
1.2.1. La química de los jabones naturales	17
1.2.2. El proceso de fabricación del jabón	18
1.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	19
1.4. HISTORIA DEL JABÓN	20
1.5. PRODUCCIÓN Y MERCADO	21
1.5.1. Mercado mundial y europeo	21
1.5.2. Mercado nacional	23
1.5.3. Mercado de la zona: Andalucía y Almería	25
1.6. APLICACIONES	27
1.7. MARCO REGULATORIO	28
1.8. PRODUCTO NOVEDOSO: UN JABÓN NATURAL	29
2. OBJETIVO	31
3. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD	32
4. ALTERNATIVAS	34
4.1. MATERIA PRIMA DE PARTIDA	34

4.1.1. Grasas y aceites	34
4.1.2. Catalizador básico.....	48
4.1.3. Agua	51
4.1.4. Aditivos: sal, aromas, fragancias, pigmentos, colorantes	55
4.2. TIPO DE PRODUCTO A OBTENER A PARTIR DE LOS AVUs.....	55
4.3. TRATAMIENTO PREVIO DE PURIFICACIÓN DE LOS ACEITES.....	61
4.3.1. Sedimentación y decantación	61
4.3.2. Filtración.....	61
4.3.3. Desbaste	62
4.3.4. Centrifugación	62
4.3.5. Floculación y coagulación.....	62
4.4. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL JABÓN	63
4.4.1. Proceso en frío y curación del jabón.....	63
4.4.2. Reacción en caliente y gelificación.....	64
4.5. MODO DE OPERACIÓN.....	65
4.6. ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	66

1. ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN. EL JABÓN

1.1.1. Definición del jabón. Tipos de jabones [1]

La palabra jabón proviene del [latín tardío](#) “*sapo, -ōnis*”, y este a su vez del germánico “*saipōn*”. Se trata de un agente limpiador o detergente que se fabrica utilizando grasas animales y/o aceites vegetales.

El jabón es soluble en agua y, por sus propiedades detergentes, se usa comúnmente en productos destinados a la [higiene](#) personal y para lavar determinados objetos o tejidos. Normalmente se presenta en forma de pastilla, en polvo, en crema o en líquido, aunque es sólido en estado natural a temperatura ambiente. En realidad la forma sólida es el compuesto "seco" o sin el agua que está involucrada durante la reacción química para fabricar el jabón, y la forma líquida es el jabón "disuelto" en agua, en este caso su consistencia puede ser muy viscosa o muy fluida.

Químicamente, el jabón es la sal sódica o potásica de un ácido graso, que se obtiene por hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en los materiales grasos. Si se escinde una grasa con un álcali, en lugar de con agua, se obtienen glicerina y una sal o jabón del metal alcalino con el ácido graso. Esta reacción se llama saponificación y es la base de la industria del jabón [1].

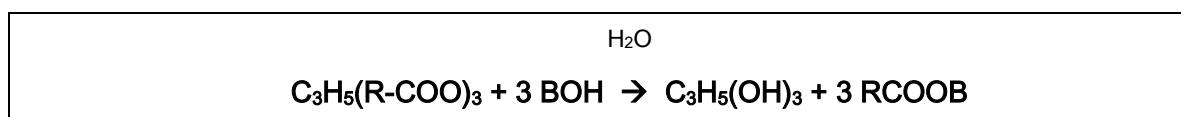


Figura MJ.1: Ecuación general de la saponificación.

El ión de la base (Na^+ o K^+) provoca la separación de los ácidos grasos unidos al glicerol. De esta manera los ácidos grasos libres recién creados se unen al sodio o potasio formando la molécula del jabón.

Los álcalis más usados en la saponificación son el hidróxido de sodio (sosa cáustica) y el de potasio (potasa cáustica), por lo que el término B, en la Figura MJ.1, corresponde a los elementos Na o K, y obtendremos así los correspondientes jabones de sodio o de potasio. Si la saponificación se efectúa con sosa, se obtendrán los jabones de sodio (jabones duros), que son sólidos y ampliamente usados en el hogar.

En caso de hacerlo con potasa, se obtendrán jabones de potasio (jabones blandos), que tienen consistencia líquida.

[1] Bailey, Alton E. (1984). "Aceites y grasas industriales". Ediciones Reverté

[2] Chemistry of Soaps and Detergents, Elsevier

Si los tres radicales R son iguales, se trata de un triglicérido simple, por el contrario si son distintos, será un triglicérido mixto, que es el caso más común. Hay muchos tipos de triglicéridos dependiendo de la longitud de la cadena de carbonos y de la cantidad de enlaces simples, dobles o triples que haya en esta cadena.

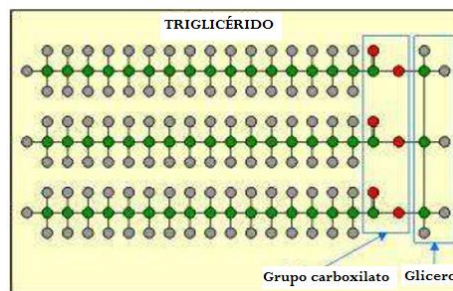


Figura MJ.2: Estructura molecular de un triglicérido cualquiera.

El agua es necesaria en la reacción ya que actúa como una especie de "catalizador". Es el medio para que reaccionen triglicérido y álcali.

Los jabones se nombran dependiendo del ácido graso del que provengan. Por ejemplo, un jabón formado por el ácido esteárico (común en las grasas animales) y por sosa, recibe el nombre de *estearato de sodio*. Otros jabones comunes son: palmitato de sodio, oleato de potasio, laurato sódico, etc. Éste es el caso más sencillo, cuando los 3 ácidos grasos del triglicérido coinciden. En caso de que no, el nombre se complica algo más.

El ácido graso puede ser de origen vegetal o animal, sólido o líquido, por ejemplo, sebo, manteca de cerdo, aceite de coco, de oliva, etc.

Los jabones son agentes tensioactivos o surfactantes. Se trata de sustancias que disminuyen la tensión superficial de un líquido o que actúan sobre la superficie de contacto entre dos fases, por ejemplo dos líquidos inmiscibles.

Los tensioactivos o surfactantes se pueden clasificar en cuatro grandes grupos, atendiendo a sus propiedades:

- Aniónicos: contienen carga negativa en solución acuosa (jabones, alquilbenceno sulfonatos lineales, alfa olefín sulfonatos, dialquil sulfonatos, etc.).
- Catiónicos: contienen carga positiva en solución acuosa (aminas grasas y sales, sales de amonio cuaternarias, etc.).
- No iónicos: no se disocian en el agua, carecen de carga (alquil fenoles polietoxilados, alcoholes grasos polietoxilados, etc.).
- Anfóteros: dependiendo del pH se comportan como aniónicos o catiónicos (aminoácidos, las betaínas o los fosfolípidos).

Los jabones se engloban en el primer grupo, *tensioactivos aniónicos*. Éstos comprenden aquellos compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa originando iones con carga negativa y que son los responsables de la actividad superficial. Por ello es necesaria la presencia del agua en la reacción de saponificación.

Tienen un resto hidrofóbico alquílico y un grupo polar carboxílico. Son de fácil preparación por neutralización de ácidos grasos o por saponificación de acilglicérol, y poseen excelentes propiedades para su uso como jabones de tocador o como aditivos en composiciones detergentes.

Pese a las ventajas que se han comentado, también tienen algunos inconvenientes: son inestables en aguas duras y en disoluciones a pH ácido, así como insolubles en presencia de electrolitos. Por ello habrá que tener especial cuidado con el agua que usemos en la mezcla de saponificación de nuestro proceso, ya que debe de estar desionizada, controlando, además el pH de la mezcla.

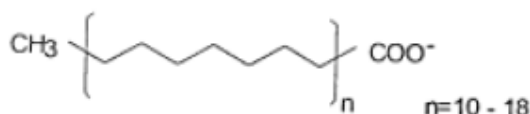


Figura MJ.3: Fórmula general de un tensioactivo aniónico, sin la parte positiva de la molécula (la sal)

Son los más usados en composiciones de detergentes sintéticos en polvo (alquilbenceno sulfonatos), productos líquidos para el lavado de ropa, los jabones (sales de sodio o potasio de ácidos grasos), los agentes espumantes (lauril sulfato), los humectantes (sulfosuccinato), los dispersantes (lignosulfonatos), etc. Su producción representa alrededor del 55% de los surfactantes producidos anualmente en el mundo.

Como podemos ver, existen innumerables tipos de jabones. Las diferencias principales radican en aspectos visuales, de textura, olor, consistencia, propiedades limpiadoras o terapéuticas, etc. Algunos de los tipos más conocidos son el jabón de Marsella, el de Castilla, el azul y blanco portugués, el de Brea, el de Aleppo, etc.

1.1.2. ¿Cómo limpian los jabones?

Los jabones y detergentes ejercen su acción limpiadora sobre las grasas en presencia del agua debido a la estructura de sus moléculas, ya que poseen dos partes diferenciadas:

- ✧ una parte **hidrofóbica** o lipofílica (liposoluble), por medio de la cual se une a la grasa o aceite, disolviéndola. Repele al agua y es apolar (la cola en la figura MJ.4).
- ✧ una parte **hidrofílica** (hidrosoluble), que tiene afinidad por el agua, por lo que se une con ella. Hace que el jabón se disuelva a su vez en agua (la cabeza en la figura MJ.4).

Las manchas de grasa no se pueden eliminar sólo con agua por ser insolubles en ella. El jabón en cambio, que es soluble en ambas, permite que la grasa se diluya en el agua formando una emulsión.

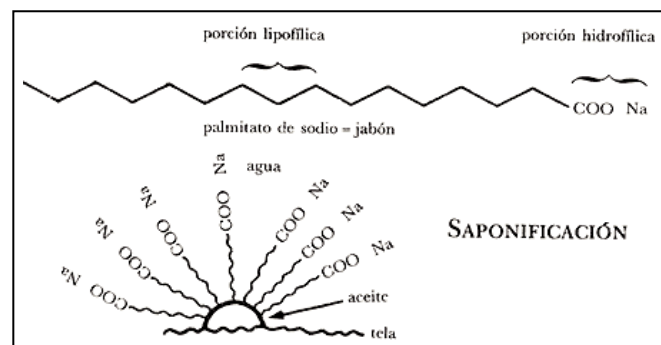


Figura MJ.4: Estructura molecular de las partes de un jabón.

Cuando un jabón se disuelve en agua disminuye la tensión superficial de ésta, con lo que favorece su penetración en los intersticios de la sustancia a lavar. Por otra parte, los grupos hidrofóbicos del jabón se disuelven unos en otros, mientras que los grupos hidrofílicos se orientan hacia el agua generando un coloide, es decir, un agregado de muchas moléculas convenientemente orientadas. Como las micelas coloidales están cargadas y se repelen mutuamente, presentan una gran estabilidad.

La agitación ayuda a que se rompan estas micelas de grasa y que las superficies antes sucias se vuelvan hidrofílicas. Las gotitas de grasa se repelen unas a otras lo que las mantiene suspendidas en el agua hasta el aclarado.

1.2. FUENTES DE OBTENCIÓN. FABRICACIÓN DE JABONES

1.2.1. La química de los jabones naturales

Es sorprendente que, a pesar de los avances técnicos y el desarrollo científico en infinidad de campos en los últimos años, el jabón clásico todavía esté basado en la misma química que los jabones antiguos.

Como se ha comentado anteriormente en esta memoria, el jabón es fabricado por el proceso de saponificación, por el cual los triglicéridos (grasas y aceites) o ácidos grasos se transforman en las correspondientes mezclas de sal de álcali de ácidos grasos.

Actualmente se pueden distinguir tres métodos para obtenerlos:

- Por **saponificación directa de las grasas neutras**, o hidrólisis alcalina de ésteres; en la cual los triglicéridos presentes en el aceite y/o grasa son saponificados directamente con el álcali aplicando un hervido o semi-hervido.

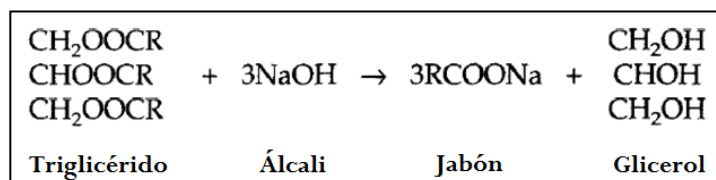


Figura MJ.5: Reacción de saponificación directa [1].

Se obtiene una mezcla de dos fases, una formada por el jabón y la otra por glicerina. Esta mezcla se trata con la sal para precipitar el jabón y así poder separarlas. A continuación se lava y se seca la fase superior, mezcla resultante llamada "jabón base". La fase inferior glicerosa, contiene agua y glicerol principalmente, se puede purificar para obtener glicerina, subproducto de esta reacción.

- Por **neutralización de los ácidos grasos libres con un álcali**, con liberación de agua. El ácido graso destilado, obtenido de los triglicéridos por hidrólisis, se

neutraliza con la base. En este caso no se obtiene glicerina como subproducto, si no que se obtiene agua.

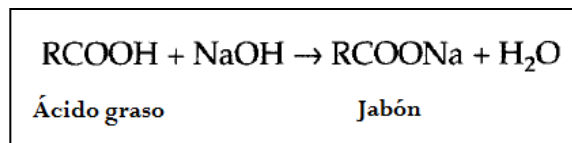


Figura MJ.6: Reacción de neutralización de AGLs.

El producto obtenido por los métodos 1 y 2 es lo que se llama "jabón base", y tiene un contenido de ácido graso del 63 a 75%. Estos procesos engloban más del 95% de la producción mundial de jabón.

- El último método se realiza mediante **saponificación del metiléster con un álcali**. El metiléster es obtenido por transesterificación catalítica de triglicéridos con el metanol o esterificación catalítica directa de ácidos grasos con el metanol. El producto final de este proceso tiene un contenido de ácido graso más alto, a cargo de un proceso más costoso. Se usa sobre todo en Japón:

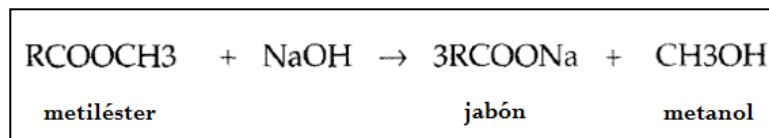


Figura MJ.7: Reacción del metiléster con sosa [2]

El método más ampliamente utilizado es el primero, la saponificación directa, debido a que el equipo requerido para obtener productos de buena calidad es relativamente sencillo y poco costoso. La producción y manipulación de ácidos grasos requiere metales resistentes a los ácidos, más caros y difíciles de conseguir. Por ello, resulta más fácil de fabricar jabones de alta calidad con grasas y aceites neutros que instalar equipos especiales para hacerlo por el segundo método.

1.2.2. El proceso de fabricación del jabón

El proceso de fabricación de jabón es, a grandes rasgos, el siguiente:

- se coloca el aceite o grasa en un recipiente de acero inoxidable (paila).
- se calienta la paila mediante un serpentín o camisa de calefacción por donde circula vapor.
- cuando la grasa se ha fundido o el aceite se ha calentado a unos 80-100°C, se agrega lentamente y con agitación continua la solución acuosa de álcali (sosa o potasa).
- se continúa agitando hasta obtener la saponificación total.
- se agrega una solución de sal común, NaCl ó KCl (dependiendo del álcali que hayamos elegido), para que el jabón se separe y quede flotando sobre la solución acuosa que contiene glicerina.
- se recoge el “jabón base” y se le agregan colorantes, perfumes, aromas u otros ingredientes, dependiendo del uso que se le quiera dar.
- si el jabón que vamos a producir va a ser en barras (sólido, llamado comúnmente jabón de tocador), se enfría y se corta en porciones, las que enseguida se secan y prensan, dejando un material con un contenido de agua en torno al 35%. Si por el contrario vamos a obtener un jabón líquido, se deja enfriar, pero menos tiempo que el anterior, y se le añade más agua junto con los ingredientes finales, para embotellarlo.

1.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

Durante la reacción de saponificación, hay que tener en cuenta varias determinaciones analíticas importantes:

- El **índice de ácido o número de ácido (IA)**, que mide el grado de hidrólisis de una grasa. Se define como la masa de KOH en mg, requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de grasa. También puede expresarse la acidez de una grasa en forma de porcentaje de ácidos grasos libres, suponiendo en el cálculo que los ácidos tienen un peso molecular igual al del ácido oleico. La relación entre el número de ácido y el porcentaje (%) de ácidos grasos libres, calculados como ácido oleico, es la siguiente: $1 \text{ ud } n^{\circ} \text{ ácido} = 0,503\% \text{ AGLs}$

$$IA = \frac{\text{mg KOH requeridos para neutralizar}}{1 \text{ g grasa o aceite}} \quad [\text{Ec. MJ.1}]$$

- El **índice de saponificación (IS)** y otros índices relacionados, miden el peso molecular medio de la sustancia grasa. El IS se define como el número de miligramos de KOH requeridos para saponificar un gramo de grasa.

$$IS = \frac{\text{mg KOH requeridos para saponificar}}{1 \text{ g grasa o aceite}} \quad [\text{Ec. MJ.2}]$$

- El **índice de neutralización** es el número de miligramos de KOH necesarios para neutralizar un gramo de ácidos grasos (AG).

$$IN = \frac{\text{mg KOH requeridos para neutralizar}}{1 \text{ g AG}} \quad [\text{Ec. MJ.3}]$$

- El **equivalente de saponificación (Eq. S)**, o de neutralización si se refiere a ácidos grasos, es el número de gramos de materia grasa saponificable por un mol de KOH. Es numéricamente igual al peso molecular medio de los ácidos, si el producto consta de ácidos grasos puros, o igual a una tercera parte del peso molecular medio de los glicéridos, si se supone que el producto consta enteramente de aceites neutros libres de materia insaponificable.

Relación con el índice de saponificación:

$$IS \cdot \text{Eq. S} = 56,104 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) \quad [\text{Ec. MJ.4}]$$

- El **índice de esterificación (IE)**, es el número de miligramos de KOH requeridos para saponificar el aceite neutro contenido en un gramo de muestra y se relaciona con el IS así: I índice de saponificación, menos el número de ácido.

$$IE = IS - IA \quad [\text{Ec. MJ.5}]$$

1.4. HISTORIA DEL JABÓN

La industria del lavado, que engloba la fabricación del jabón y el detergente, entre otros productos de higiene personal, cuenta con más de 20.000 años de antigüedad. Podemos decir que el jabón nunca se “descubrió”, sino que evolucionó gradualmente de mezclas simples de materiales alcalinos y grasos hasta lo que es hoy.

La industria del jabón prosperó en las ciudades costeras del Mediterráneo, como España e Italia, favorecidas por la abundante presencia del aceite de oliva. Destaca en el siglo XV la aparición del jabón de Marsella, preparado con una mezcla de grasas vegetales.

Hasta el comienzo del Siglo XIX, se creyó que el jabón era una mezcla mecánica de grasas y álcalis, y fue en esta época cuando se difundió el uso del jabón en Europa para luego ir extendiéndose por todo el mundo. Varios químicos franceses aportaron grandes avances a la industria jabonera. Chevreul (1804) demostró que la formación del jabón era una reacción química. Hasta que Nicolas Leblanc (1791) descubrió un método barato para fabricarlo a partir de la sal, produciendo carbonato de sodio a bajo costo a partir de cloruro de sodio, las personas hacían escaso uso del jabón, por ser caro. Además, los hallazgos de Luis Pasteur demostraron que el aseo personal reducía la expansión de enfermedades. Todo esto permitió importantes avances y la profesionalización de la fabricación y expansión del jabón.

Durante siglos, el aceite de oliva, muy abundante en Francia, España e Italia, fue el principal ingrediente para su fabricación, pero, en el siglo XIX, se fue sustituyendo gradualmente por el aceite de palma.

En el Siglo XX, los alemanes fueron los primeros que produjeron “jabones sintéticos” o detergentes durante la Primera Guerra Mundial. Se componían de sulfonatos de alquil-naftaleno de cadena corta, que eran buenos agentes humectantes pero malos en acción detergente. Este hecho inició el interés mundial por el desarrollo de detergentes y que hoy aún continúa.

En la segunda mitad del siglo XX continuó el desarrollo de productos de limpieza químicos y fáciles de usar. Algunas innovaciones fueron los polvos para lavadoras automáticas, los suavizantes de ropa, los detergentes con blanqueador, polvos con enzimas, quita manchas, detergentes concentrados, etc.

Pero todo ese desarrollo de productos químicos despertó también la preocupación por sus efectos en el medio ambiente. Aparecieron las primeras plantas de tratamiento de aguas y una mayor conciencia medioambiental puso en entredicho la inclusión de algunos compuestos químicos dañinos de los detergentes, como los fosfatos, y animó el desarrollo de los ingredientes biodegradables, que se eliminan con facilidad y pueden ser asimilados por algunas bacterias [3].

1.5. PRODUCCIÓN Y MERCADO

1.5.1. Mercado mundial y europeo

Según el informe de *“Cosméticos europeos y artículos de tocador. Mercado 2012”* de la Asociación Nacional de Perfumería y Cosmética (Stanpa), la industria cosmética en Europa obtuvo una capacidad adquisitiva de 72 mil millones de euros, haciéndola líder a nivel mundial en 2012 ^[4].

En comparación con los valores de mercado que obtuvieron Estados Unidos y Japón, Europa fue el mayor productor de cosméticos en 2012, con unas ventas de casi un 40% más, en el caso de los EE.UU y con más del doble de ventas que Japón (fig. MJ.9).

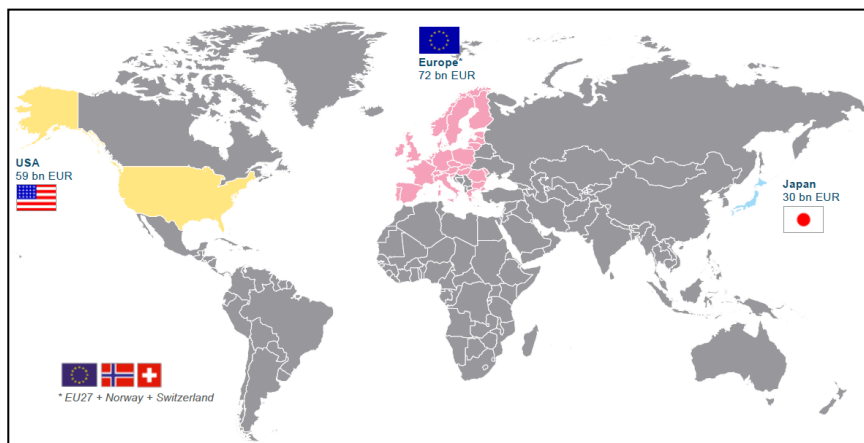


Figura MJ.9: Mercado de artículos de tocador y cosméticos global ^[5].

En este informe también se tiene constancia del crecimiento de la industria cosmética europea en términos reales. Las últimas estimaciones mostraron un aumento del 8% durante 2012 (figura MJ.10).

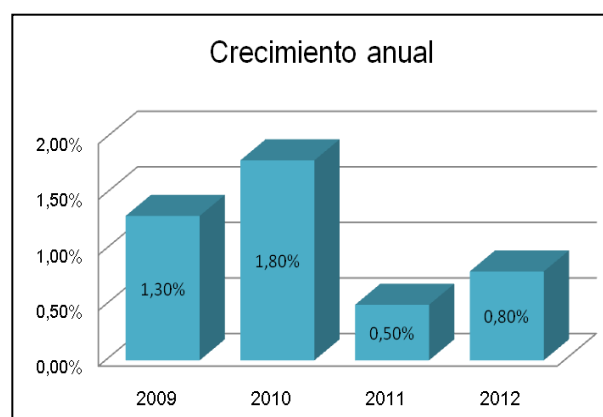


Figura MJ10. Crecimiento global del mercado de artículos de tocador y cosméticos.

Periodo 2009-2012 ^[4].

En cuanto al volumen de negocio de mercado, y a pesar de las presiones financieras actuales, las compras de cosméticos y artículos de tocador permanecieron

constantes. Esto subraya la percepción de que estos artículos de cuidado personal son componentes esenciales de la vida diaria de las personas. Otra razón más para llevar a cabo este proyecto.

Según este informe, España es el quinto productor, con unos 7.000 millones de euros de ventas durante 2012, lista que encabeza Alemania con casi el doble de ventas, y seguida de nuestros vecinos franceses con un poco más de 10.000 millones (fig. MJ.11).

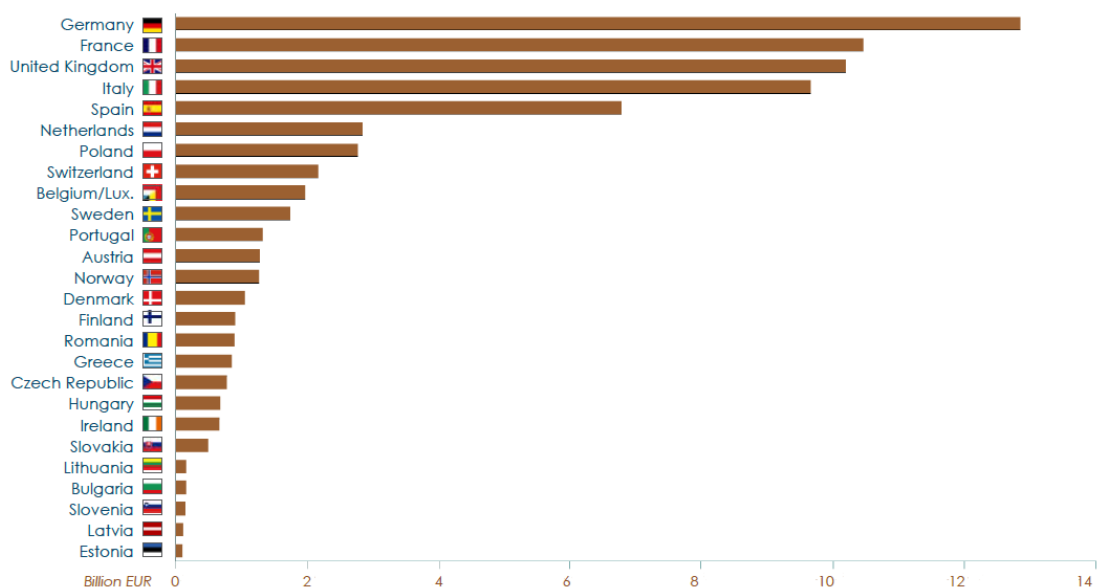


Figura MJ.11: Volumen de negocio del mercado cosmético por país ^[4].

1.5.2. Mercado nacional

Según un estudio realizado por Nielsen, empresa líder en servicios de información e investigación de mercados, durante 2012 España fue el país europeo donde mayor porcentaje de consumidores declaró comprar productos destinados a cuidar su salud y belleza. De hecho, el sector de la perfumería y cosmética es uno de los que mejor está resistiendo la actual situación económica, con un crecimiento entre 2009 y 2013 del 10% de media entre los distintos productos.

Pese al contexto adverso, España se sigue posicionando entre los cinco mercados más importantes de la UE, como hemos comentado antes, con unos 35.900 empleos directos y unos datos de exportación que superan los 2.450 millones de euros, con una balanza comercial positiva, y que no ha parado de crecer a lo largo de la última década.

Se justifica así que en 2012, España ocupara un merecido 5º puesto respecto a las ventas de productos de higiene y cuidado personal, sector que aportó aproximadamente el 0,55% del PIB del país.

La dimensión industrial y comercial del sector en España es muy relevante. En torno a 450 empresas, tanto fabricantes como distribuidoras mayoristas, operan en nuestro país. El 84% de ellas son PYME's y están repartidas por todo el territorio nacional, con una presencia en Cataluña de más de la mitad, un cuarto están ubicadas en la Comunidad de Madrid, mientras que un 14% lo están en la Comunidad Valenciana y tan sólo un 8% en el resto del territorio español (figura MJ.12).

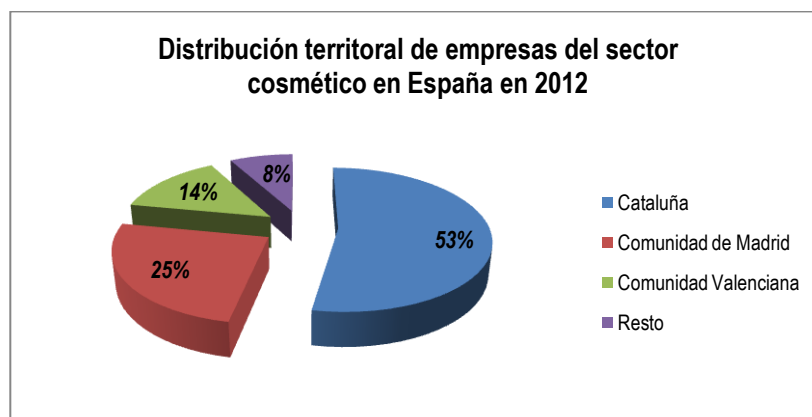


Figura MJ. 12: Distribución de empresas del sector cosmético y perfumería en territorio nacional. Año 2012

[4].

Además cabe destacar que, a pesar de la crisis actual del país, en 2012 el sector mantuvo sus 35.900 empleos directos, lo que supuso un 0,2% del empleo total en España.

De los 7.000 millones de euros de consumo aproximado, cerca del 50% de la facturación procede de productos de alto valor añadido. Con un 26% de facturación en productos para el cuidado de la piel y un 22% en perfumes y fragancias. Un dato curioso es que se ha comprobado que todo español utiliza entre 6 y 8 productos de esta industria a diario: gel, champú, jabón, desodorante, crema, maquillaje, aftershave, etc.

En cuanto a la cifra de exportación del sector, se refleja una gran actividad, siendo superior a los 2.400 millones de euros durante el año 2012, lo que supone el 1,2% del total de exportación nacional.

Según la “Encuesta Industrial Anual de Productos 2011” del INE, el sector industrial denominado como *Fabricación de jabones, detergentes y otros productos de limpieza y abrillantado; perfumes y productos de belleza e higiene*, grupo donde se incluye nuestro producto, obtuvo los datos siguientes en 2011 (tabla MJ.1):

Producto	Producción (Tm)	Valor ventas (€)
Jabón, productos preparados orgánicos tensioactivos (excluidos detergente y jabón en gel):		
en barras	3.916,66	5743
en copos, gránulos o polvo	1.842,49	2560
en otras formas	130.831,16	198.632
Jabones de tocador (incluye medicinales y geles de baño)	191.300,08	201.130

Tabla MJ.1: Datos de producción y ventas en el sector cosmético e higiene personal (2011) ^[4].

1.5.3. Mercado de la zona: Andalucía y Almería

En Andalucía el sector de cosméticos y productos de higiene personal obtenidos a partir del aceite de oliva ha ido creciendo progresivamente por encima de un 10% anual en los últimos años ^[9].

Teniendo en cuenta algunos datos extraídos de las “Encuestas del Sector Industrial de 2012” realizadas por el Instituto de Estadística y Cartografía Andaluz (IECA), podemos decir que:

- en la **industria de alimentación**:
 - se contabilizaron unos 7.000 establecimientos en toda Andalucía, y en particular 472 en Almería (sólo un 6% del total). Parte de ellos se dedican a fabricar productos que usan aceites para su proceso final.
- respecto a **recogida, tratamiento y eliminación de residuos y posterior valorización**:
 - se contabilizaron 722 establecimientos en Andalucía dedicados a este objetivo, de los que el 14% están situados en Almería. Del total contabilizado, muchos de estos establecimientos se dedican a la gestión de AVUs, por lo que es interesante destacar este dato.
- y respecto a la **industria química**, en la que se incluye la industria cosmética, objeto de nuestro estudio:

- se registraron en Andalucía 837 establecimientos, de los cuales un 7,5% corresponde a Almería. Parte de las empresas que se reflejan en este porcentaje se dedican a la fabricación y venta de productos cosméticos.

En la tabla MJ.2 se muestran los datos extraídos del ICA, de la encuesta del 2012 realizada al sector industrial, “*Establecimientos industriales según actividad principal (divisiones CNAE 2009) y por provincia*”:

Nº de establecimientos		
Sector	Almería	Andalucía
Industria alimentación	472	7.342
Industria química	63	837
Reciclaje residuos, valorización	104	722

Tabla MJ.2: Extracto de número de establecimientos industriales por provincia y rama de actividad ^[10].

En base a los datos de la tabla MJ.2, hemos confeccionado el siguiente gráfico de barras para el 2012, comparando el número de establecimientos en Andalucía y Almería, según sector de interés:



Figura MJ.13: Distribución de establecimientos según sector industrial de interés ^[10].

Para justificar la realización de este proyecto, se ha llevado a cabo un estudio de mercado de la competencia en la zona almeriense, y se ha visto que no hay muchas industrias dedicadas a la manufactura de productos cosméticos, en particular de jabón. Algunas de las empresas que fabrican productos cosméticos son “Briseis”, en Benahadux, “Aromas de los Filabres”, en Tíjola, o “HS Spain Cosmetics”, en Abla. *Briseis* es un gran productor y exportador, pero se dedica mayoritariamente a la

fabricación de perfumes, colutorios, champús y geles de baño. *Aromas de los Filabres* apuesta por la cosmética natural, usando aceite de oliva limpio en sus elaboraciones, entre otros materiales, y por último, *HS Spain*, no fabrica jabones, sino productos para el pelo, champús, acondicionadores, fijadores, lacas, etc.

Por tanto, se justifica la construcción de la instalación objeto del presente proyecto, por la escasa existencia de industrias que se dediquen a la producción de jabones cerca de la ubicación seleccionada. También cabe destacar que además de ser un proceso novedoso que aprovecha un residuo generado a diario como materia prima de partida, se ofrece un producto de calidad que podríamos vender en toda la provincia de Almería, y en un futuro se podría distribuir a poblaciones cercanas e incluso al resto de España.

1.6. APLICACIONES

Es sabido que la gran mayoría de la producción mundial del jabón se destina a su utilización como agente de limpieza, pero existen también otros usos importantes como agente emulsionante en algunos otros sectores que se detallan a continuación:

- Limpieza y lavandería: se destina un alto porcentaje del jabón producido para el aseo y lavado doméstico y para empresas comerciales de lavandería.
- Textil: los jabones se usan en operaciones de lavado, remojo, encurtido, impermeabilización, abrillantado, etc.
- Alimentación: en industrias y establecimientos donde se manipulan productos alimenticios, los jabones se usan para las manos y ropa de los operarios, para los equipos, en los locales, suelo, para limpiar frutas y verduras, etc., siempre y cuando se cumpla con la normativa de higiene y seguridad.
- Sanitario: los jabones de potasa son utilizados en la limpieza de hoteles, fábricas, restaurantes, tiendas y edificios de oficinas. También se usan jabones líquidos para manos en los aseos de estos establecimientos, para el fregado de suelos; y en hospitales suelen incluir alcohol o agentes antimicrobianos para minimizar los gérmenes.
- Pinturas: el jabón forma parte de la formulación de las pinturas de tipo emulsión acuosa, que son resinas sintéticas emulsionadas en agua. También se usan para elaborar pigmentos.
- Plásticos y caucho: polimerización de emulsiones gracias al empleo del jabón.
- Papel: se usa como detergente, emulsionante y lubricante. Para fabricar acabados y recubrimientos.
- Agricultura: para fabricar insecticidas y evitar infecciones en el ganado.

- Cosméticos: por su poder emulsivo es el ingrediente por excelencia en casi todas las fórmulas de productos cosméticos. La mayor parte de los jabones empleados se forman in situ durante la mezcla de la fase acuosa y oleosa.

1.7. MARCO REGULATORIO

Después de 3 años y medio, en julio de 2013, se ha aprobado un reglamento aplicable a la industria cosmética a nivel europeo. Se trata del *Reglamento 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009*, lo que implica **una legislación única y obligatoria para toda Europa**, donde se unifican los requisitos y garantías en referencia a los productos de perfumería y cosmética.

Por primera vez en 2012, el mayor mercado del cuidado personal mundial, con más de 500 millones de consumidores, está reglado por una única legislación y de aplicación directa en todos los Estados miembros de la Unión Europea ^[5].

En España, desde el año 1999 y hasta ahora, la regulación de los productos cosméticos ha estado regida por la Directiva 76/768/CEE, traspuesta por el Real Decreto 1599/1997 y correspondientes actualizaciones. Fundamentalmente, lo que pretende el nuevo Reglamento es derogar las discrepancias entre legislaciones nacionales, fomentando la evolución y **garantizando una interpretación homogénea en todos los países de la UE**.

Algunos puntos clave que se incluyen en este reglamento son:

- Afecta a todas las empresas fabricantes de cosméticos, a importadores y a minoristas, indistintamente.
- Incluye definiciones más precisas de algunas disposiciones legales ya existentes.
- De igual manera ocurre con las definiciones de algunos términos. Se define un producto cosmético como:

"toda sustancia o mezcla destinada a ser puesta en contacto con las partes superficiales del cuerpo humano o con los dientes y las mucosas bucales, con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto, protegerlos, mantenerlos en buen estado o corregir los olores corporales".

Por tanto, quedan afectados por esta ley: productos para la piel (higiene corporal, perfumes, desodorantes, cremas,...), productos para el cabello

(tratamiento y color), afeitado, cuidados bucales, protección solar, maquillaje y cuidado de la cara, ojos y uñas, entre otros.

- De acuerdo con los artículos 6 y 7 del Reglamento, los minoristas deben:
 - Mantener los productos cosméticos en *buenas condiciones de almacenamiento*.
 - Comprobar que los productos cumplen con la regulación mediante el *control del etiquetado*.
 - Verificar que la *fecha de duración* mínima especificada no haya pasado.
 - Cooperar con las autoridades en caso de *retirada de producto*.
 - Notificar las *reacciones adversas graves*.
 - Participar en la *trazabilidad* de los productos mediante la identificación con el distribuidor o la persona responsable, y los distribuidores a los que se suministran los productos cosméticos.
- Se indica específicamente, en el artículo 8, que los cosméticos deben ser elaborados conforme a las “Buenas Prácticas de Fabricación de Cosméticos” (BPFC), descritas en la norma *ISO 22716*, por lo que esta será de obligado cumplimiento para los productores de cosméticos.
- Como novedades aporta:
 - un refuerzo en los requisitos de seguridad cosmética
 - la figura de persona física o jurídica responsable del producto
 - la centralización de todos los registros de los productos cosméticos comercializados en UE
 - la presentación de un informe de los efectos adversos graves

1.8. PRODUCTO NOVEDOSO: UN JABÓN NATURAL

Como se ha comentado anteriormente en esta memoria (apartado 1.2 Fabricación de jabones), se va a obtener un jabón mediante la reacción tradicional de saponificación de un aceite con hidróxido de potasio. La reacción que va a tener lugar consiste, simplemente, en la hidrólisis de los triacilgliceroles contenidos en las materias grasas del aceite en presencia del álcali, dando como producto las sales alcalinas correspondientes, el jabón, y como subproducto un alcohol, el glicerol.

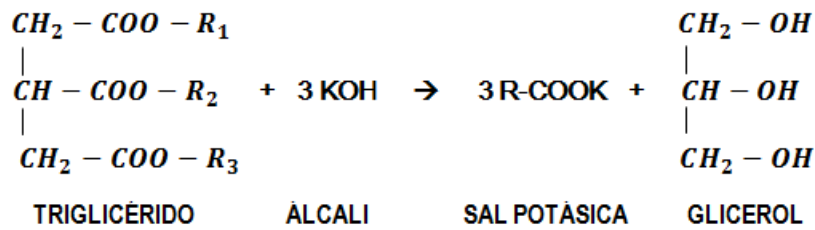


Figura MJ.14: Reacción de saponificación con KOH.

En esta memoria se describe la producción de un jabón a partir de un residuo purificado de aceites usados en las frituras, mediante el proceso tradicional de saponificación. Podemos decir que el jabón que se va a fabricar es un producto “natural” ya que, a diferencia de la industria cosmética actual, no se le van a añadir componentes químicos que alteren su aspecto, olor o textura final.

El único reactivo químico que se usará en el proceso, ya que está implicado en la reacción de saponificación, es el álcali, en nuestro caso la potasa KOH; necesaria para que los ácidos grasos contenidos en el aceite reaccionen y formen los jabones. El otro reactivo que se utilizará, pero en menor medida, es una sal (KCl), necesaria para que los cuajos de jabón se hagan más grandes y precipiten en la superficie de la mezcla. Por tanto, podemos decir que, se va a obtener un producto natural y que contribuye al equilibrio del medio ambiente.

La elección de la potasa caústica como álcali y su correspondiente sal de cloro, cloruro potásico (KCl) en vez de sus homólogos procedentes de sodio, se justifica porque vamos a producir un jabón líquido y la potasa genera jabones más blandos que la sosa.

La diferencia principal entre cosmética natural y convencional es que la mayoría de los productos obtenidos en la industria convencional, contienen ingredientes sintéticos que modifican texturas, tacto, perfumes y conservación de los productos fabricados, y al menor coste. En la cosmética natural no se añaden tantos ingredientes de relleno para modificar propiedades físicas o químicas de los productos que se fabrican, sino que se utilizan aditivos naturales menos dañinos para la piel. Por ejemplo, se usarán pigmentos naturales en vez de colorantes sintéticos y de igual modo con los aromas, en vez de mezclas químicas se usarán extractos de plantas.

En el listado de ingredientes de las etiquetas de cualquier producto cosmético y de higiene personal, podemos distinguir fácilmente los que son productos naturales y ecológicos de los que son sintéticos. La diferencia más evidente es que los ingredientes naturales son de origen vegetal y se escriben en latín, como su nombre científico indica (plantas), mientras que el resto aparecen en inglés (nomenclatura química), ya que son de origen sintético (figura MJ.15).



Figura MJ.15: Etiquetas de algunos jabones naturales y otros sintéticos.

Se apuesta por la manufactura del jabón por el método tradicional, como se sigue realizando en algunos lugares hoy en día, pero incluyendo algunas modificaciones para obtener un producto de mayor calidad y un proceso automatizado que pueda generar mayor cantidad diaria.

2. OBJETIVO

El objeto principal de este estudio es el diseño de una planta de fabricación de jabón líquido a partir de aceites usados en las frituras de cocinas de hogares y establecimientos.

Se trata de intentar solucionar y/o minimizar la práctica de verter estos aceites por los desagües, previo tratamiento de purificación, para poder procesarlos mediante una reacción de saponificación con una base fuerte y así obtener el jabón. El núcleo del

proceso será la etapa de saponificación, pero hay que tener en cuenta también el pre-tratamiento de los aceites usados para que el rendimiento de la reacción sea el más alto posible, y por tanto, obtengamos un producto de buena calidad.

Dicha instalación estará situada en el término municipal de Antas (Almería) y su capacidad de producción anual será de 2.276 toneladas de jabón líquido de manos, por lo que necesitaremos unas 1.200 toneladas de aceites vegetales usados, además de agua, hidróxido potásico (potasa cáustica) y demás aditivos.

La planta se abastecerá con los aceites recogidos en la provincia de Almería, y si fuera necesario además de Granada y Murcia.

Con esta instalación se aborda un sector con poca competencia en la zona y además novedoso, puesto que se elimina y revaloriza un residuo, elaborando un producto natural que se vende y utiliza a diario.

3. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD

Se justifica la realización de este proyecto por el importante crecimiento de la generación de residuos de aceites usados en nuestro país y en nuestra Comunidad Autónoma, Andalucía, y a la carga contaminante que conlleva el incorrecto reciclaje de los mismos.

Principalmente, nuestro proyecto se puede justificar desde cuatro puntos de vista:

➤ **Medioambiental:**

Se lleva a cabo una correcta gestión de los aceites usados evitando que lleguen a las depuradoras y al mismo tiempo se le da valor a un residuo mediante su transformación en un producto de uso diario que se puede vender.

➤ **Social:**

Los beneficios medioambientales comentados en el punto anterior provocarán la aceptación social de este proyecto, ya que en los últimos años han cobrado mayor importancia los procesos que fomentan la conservación del medio ambiente.

➤ **Económico:**

Se minimizan los costes de depuración y mantenimiento en las E.D.A.R.s, ya que los aceites no llegarán a ellas desde la red de aguas de los municipios. Además, la fábrica de productos cosméticos más cercana a la zona, está a unos 80 km de distancia, por lo que la construcción de la instalación permitirá abastecer a la población de la zona y ofertar puestos de trabajo.

➤ **Técnico:**

El proceso principal de la instalación propuesta no es novedoso, ya que la saponificación es bien conocida desde la antigüedad. Pero sí que lo es la materia prima de partida, por tanto se trata de un proceso que se ha investigado previamente. Además se sabe que no hay ninguna fábrica cerca que opere de este modo.

Además este proyecto se considera viable desde tres puntos de vista diferentes:

Viabilidad técnica:

- Se han seleccionado las operaciones físicas más adecuadas para la purificación del aceite usado en frituras y su posterior conversión en jabón.
- Se han elegido las condiciones de operación más óptimas para conseguir mayores rendimientos en la reacción de saponificación.

Viabilidad económica:

- Se procesan los aceites vegetales, minimizando el impacto ambiental y de costes de tratamiento del residuo.
- Se fabrica un jabón, producto que se usa a diario y por tanto se venderá a menudo.
- Se abaratan costes de materia prima de partida, los AVUs, por tratarse de un residuo.

Viabilidad legal:

- Se cumple la normativa vigente en referencia al medio ambiente y gestión de residuos, a la seguridad e higiene industrial, a los cosméticos y al diseño y dimensionamiento de los equipos.

4. ALTERNATIVAS

Se han tenido en cuenta todas las alternativas posibles en cada una de las áreas susceptibles de ello para nuestra instalación, y se han seleccionado las más óptimas o interesantes para la ejecución del proyecto. Las áreas que se han estudiado son las siguientes:

- Selección de la materia prima de partida: grasas y/o aceites, catalizador básico, agua, aditivos, etc.
- Selección de tipo de producto a obtener a partir de los AVUs.
- Selección de los tratamientos de purificación de los AVUs.
- Selección del proceso de obtención del jabón.
- Selección del modo de operación.

4.1. MATERIA PRIMA DE PARTIDA

4.1.1. Grasas y aceites

Los aceites y grasas son sustancias de origen animal o vegetal, que consisten predominantemente en mezclas de ésteres de la glicerina con los ácidos grasos, que son los llamados *triglicéridos*, *triacilglicéridos* o *triacilglicerol*.

En general el término “grasa” se usa para referirnos a los materiales sólidos o semisólidos a temperatura ambiente, mientras que el término “aceite” se refiere a los que son líquidos en esas mismas condiciones.

Desde el punto de vista estructural, un triglicérido puede considerarse que está formado por la condensación de una molécula de glicerol (un alcohol) con tres de ácidos grasos, para dar tres de agua y el propio triglicérido (acilglicerol, un tipo de lípido):

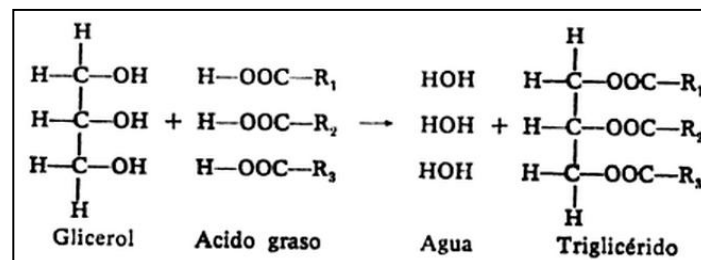


Figura MJ.16: Reacción general de formación de un triglicérido.

Los triacilglicéridos se subdividen en simples y mixtos. Los **triglicéridos simples** tienen el mismo ácido graso enlazado a cada uno de los tres átomos de carbono del glicerol (el radical R del ácido graso de la figura MJ.16 será igual en

los tres casos). Los **triglicéridos mixtos** son compuestos que tienen dos o tres ácidos grasos diferentes enlazados al glicerol (grupos R diferentes).

La mayoría de los lípidos en la naturaleza son mezclas complejas de triglicéridos simples y mixtos; por lo tanto, muchos ácidos grasos son componentes de las grasas y aceites comunes.

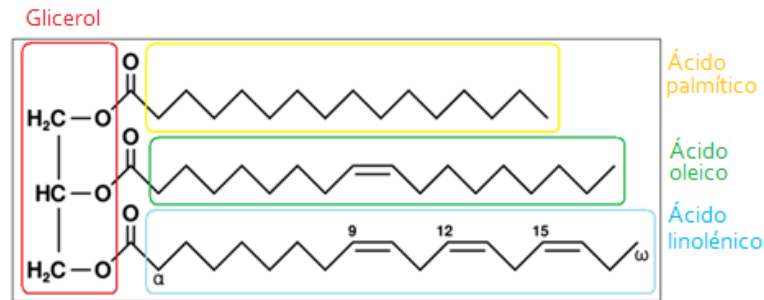


Figura MJ.17: Ejemplo de un triglicérido mixto ($C_{55}H_{98}O_6$).

Los ácidos grasos más convenientes para fabricar jabones son los que tienen la cadena de carbono más larga, es decir, que contengan de 12 a 18 átomos de carbono. Algunos de ellos son el ácido láurico, el mirístico, el palmítico y el oleico. Es evidente que los caracteres de los jabones están directamente relacionados con los ácidos grasos de las materias primas de partida.

Como materia prima grasa de partida para la obtención de un jabón existen varias posibilidades que se detallan en los siguientes puntos:

4.1.1.1. A partir de grasas animales

Las grasas animales se extraen del tejido adiposo de algunos animales y dependiendo del origen tienen diferentes características. Suelen ser productos de baja calidad, que se venden a un precio más bajo que los que se usan como alimento o para fabricar pinturas. Las grasas más comunes usadas en la producción de jabones son la manteca y el sebo no comestible.

El sebo suele ser de origen bovino y ovino. Algunas de sus propiedades son una alta dureza y cremosidad en la espuma que forman. Producen jabones blancos y duros. Se usan en una proporción del 20 al 40%. Se suele usar junto con aceite de coco al 50%.

La manteca suele proceder del cerdo. Su tacto es más untuoso y recuerda al aceite de palma, pero con un olor bastante más fuerte. Los jabones obtenidos con ella suelen ser blancos y de dureza media, pero no producen mucha espuma. Se usa en una proporción de hasta el 40%.

4.1.1.2. A partir de aceites vegetales

Como hemos comentado antes, casi cualquier grasa o aceite se puede utilizar para hacer jabón. La segunda opción para obtenerlo es el uso de aceites vegetales derivados de diferentes plantas, como son el girasol, la soja, la palma, el maíz, o la oliva.

Dependiendo del aceite que usemos en el proceso, el producto final adquirirá unas características u otras. Por ejemplo, el aceite del coco confiere al jabón unas burbujas grandes y mullidas. Sobre todo se usa en América del sur mezclándolo con sebo para obtener jabones en barra, o los llamados de tocador.

Otro aceite muy utilizado, sobre todo en Europa, es el aceite de oliva. El jabón que forma tiene unas burbujas muy finas y sedosas. Es muy bueno para la piel por sus propiedades cicatrizantes y suavizantes.

Productos que se elaboran a partir de aceites vegetales como los nombrados anteriormente y con hidróxido de potasio son los jabones de tocador, en barra y líquido; las cremas de afeitar y jabonosas, y las pastas dentífricas, entre otros. Por ello optaremos por esta materia prima para nuestro proceso productivo.

En la siguiente tabla se muestran distintos tipos de aceites y las características, tipo de jabones y uso que se les da en cada caso:

TIPO DE ACEITE	PRECIO	CARACTERÍSTICAS	JABONES	USO
Oliva	Disponibilidad fácil Precio razonable	Fácil de conseguir en España No congela hasta bajas temperaturas	Bastante duros Textura suave No demasiada espuma	50-100 % fórmula Jabón de Castilla
Coco		Difícil de conseguir en España Buen complemento para el de oliva	Gran cantidad espuma Enorme limpieza Sequedad, dureza	10-30% como máximo
Palma	Relativamente barato		Da cuerpo al jabón, más duro y tacto untuoso Produce espuma muy cremosa	10-30%
Maíz	Barato	Tiende al enranciamiento No abusar de el	Produce burbujas	5-15%
Girasol		Facilidad de enranciamiento		10-20%
Manteca de cacao	Caro Menor cantidad	Punto de fusión bastante alto	Suavidad, dureza Cremosidad en la espuma Aroma	5-15%

Tabla MJ.3: Características y tipo de jabón según aceite. [1]

Se puede partir de las fracciones peores de aceites vegetales limpios o bien aprovechar los que se generan en las frituras de hogares y del sector HORECA.

- **Aceites vegetales “limpios”**

A nivel mundial, España apenas representa el 2-3 % de la producción total (figura MJ.18) y tan sólo se roza el 0.5 % del consumo de aceites vegetales (figura MJ.19). Estos datos manifiestan la insignificancia de nuestro mercado respecto al global, pero cabe destacar que aproximadamente un 71 % del todo el consumo de aceite de oliva, corresponde solamente a la Unión Europea [4].

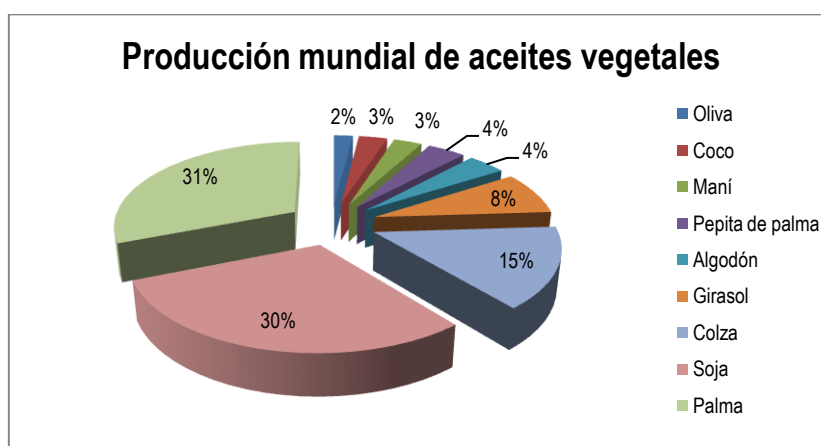


Figura MJ. 18: Distribución de la producción mundial de aceites vegetales. Periodo 2010-2011

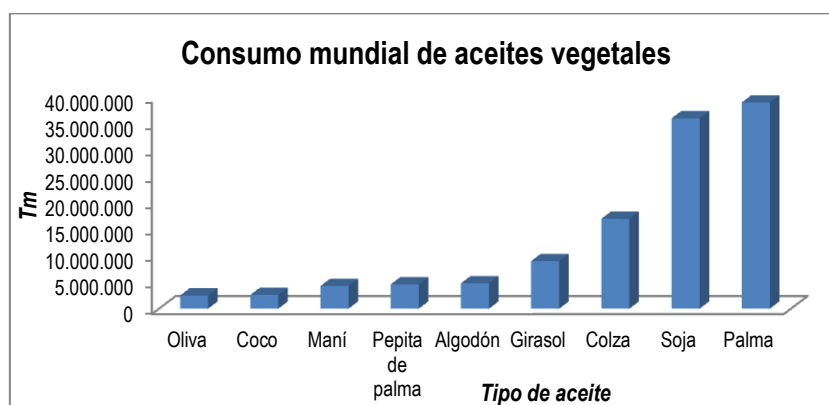


Figura MJ. 19: Consumo mundial de aceites vegetales en millones de toneladas. Año 2011

Alrededor del 24% de la producción mundial del aceite de oliva en la campaña 2010-2011, se localizó en los países de la Cuenca Mediterránea, España, Grecia e Italia. Según informes del COI, la producción de aceite de oliva de estos países, fue de

728,5 miles de Tm en 2011, en comparación con las 2.094 miles de Tm producidas en toda la UE [15], [16].

Respecto al territorio nacional, los aceites que más se consumen en España son principalmente el de oliva y girasol. Según la *Asociación Nacional de Industriales Envasadores y Refinadores de Aceites Comestibles (ANIERAC)*, el consumo directo de aceite en España, tanto en hogares como establecimientos e instituciones, se puede considerar que está repartido principalmente entre estos dos tipos de aceites vegetales.

Como podemos ver en la figura MJ.20, encabezan la lista el aceite de oliva, con un consumo del 60%, y el aceite de girasol con 1/3 del total, siendo marginal el consumo de otros tipos de aceites vegetales, como son el de soja, maíz, cacahuete, palma, etc.

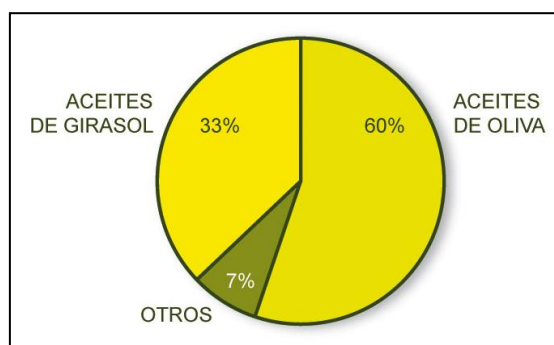


Figura MJ.20: Consumo medio de aceites comestibles en España en 2012 [13].

La distribución de porcentajes de producción según Comunidad Autónoma, deja evidencia de que, en Andalucía, se produce la mayor parte del total de aceite de oliva (figura MJ.21). Encabeza la lista de productores la provincia de Jaén, seguida de Córdoba y Granada. Almería fue la 6ª en la lista, por delante de Cádiz y Huelva (Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía, 2011 [12]).

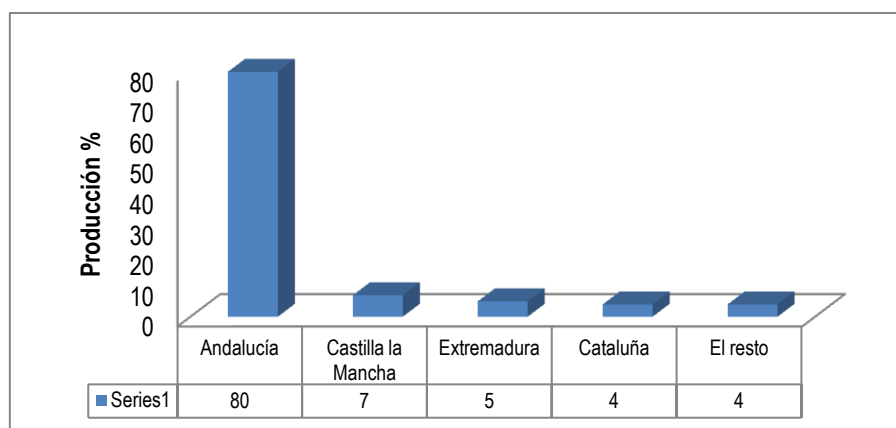


Figura 21. Producción (%) según CCAA ^[16].

Según la AAO, Asociación de Aceite de Oliva, en España durante la campaña de 2012/2013 se produjeron 618.200 Tm de aceite de oliva, un 38% menos que en la campaña anterior, debido a las malas condiciones meteorológicas de la campaña.

Campaña	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013
Total (miles de Tm)	1.030,0	1.401,5	1.391,9	1.615,0	618,2

Tabla MJ.4: Producción de aceite de oliva según campaña ^[16].

- **A partir de aceites vegetales usados (AVUs)**

Los AVUs que se destinan a las frituras de cocinas en hogares y establecimientos del sector HORECA (Hostelería, Restauración y Catering) se arrojan por los fregaderos y retretes una vez que se han reutilizado unas 2 ó 3 veces. El recorrido de estos aceites va a parar a la red de aguas residuales, dañando el medioambiente y provocando problemas en la depuración de éstas. Por tanto estos aceites se consideran un residuo generado a diario y que provoca problemas medioambientales. Este hecho nos ha incentivado a buscar una solución viable para deshacernos correctamente de ellos y transformarlos en un producto más valioso, contribuyendo a la sostenibilidad y medio ambiente de nuestros municipios.

A lo largo de los años este problema se ha ido incrementando en los países industrializados, con el uso desmedido de estos aceites en las frituras y por los hábitos alimenticios de la sociedad.

En la actualidad en España 2 de cada 3 litros de aceite de freír se tiran por el fregadero y se estima que tan sólo 1 litro de aceite puede contaminar hasta 1000 litros

de agua. Este hecho encarece el proceso de depuración en las E.D.A.R.s con un coste que asciende a unos 2,35-2,40 € por litro de aceite vertido de forma incorrecta. En caso de que no se realizara la depuración total del aceite, contaminaría las cuencas internas, el mar y los acuíferos, interfiriendo en la vida natural y degradando el entorno, por la proliferación de microorganismos perjudiciales para la salud [12].

Según informes del *MAGRAMA*, cada persona genera como residuo entre 4 y 5 litros de aceite al año. Sabiendo que la población de Europa en 2012 fue de 820.918.000 personas, podemos estimar que la producción aproximada de aceite fue de 4.105.000 toneladas, cantidad generada de residuo que podría haberse recuperado para obtener productos más atractivos [17].

En el caso particular de España, el volumen de producción anual de aceites usados durante 2012 estuvo en torno a 1.300.000 toneladas, de las cuales tan sólo un 20% fueron objeto de recogida para su aprovechamiento. Se estima, por tanto, que aproximadamente un millón de toneladas son vertidas a la red de saneamiento.

El consumo anual y por habitante de aceite oscila entre 18 y 25 litros al año, de los cuales unos 4-5 litros se convierten en residuo, como hemos comentado antes.

Estos datos pueden extrapolarse a la Comunidad Autónoma de Andalucía, obteniéndose las siguientes estimaciones (tabla MJ.5):

ZONA GEOGRÁFICA	POBLACIÓN (nº habitantes)	CANTIDAD GENERADA AVUs (Tm)	CANTIDAD RECOLECTADA AVUs (Tm)
España	46.196.278	1.300.000	260.000
Andalucía	8.449.985	238.000	47.600
Almería	704.219	19.800	3.970

Tabla MJ.5: Estimación de la cantidad generada de aceites usados en 2012.

Se han encontrado otros datos de interés en la “*Encuesta de Hogares y Medio Ambiente de 2008*” realizada por el INE. En ella se afirma que, tan sólo el 24% de la población española, recicla los aceites de cocina correctamente (figura 22), y que, en particular solamente el 18,9% de los andaluces lo hacen (figura 23).

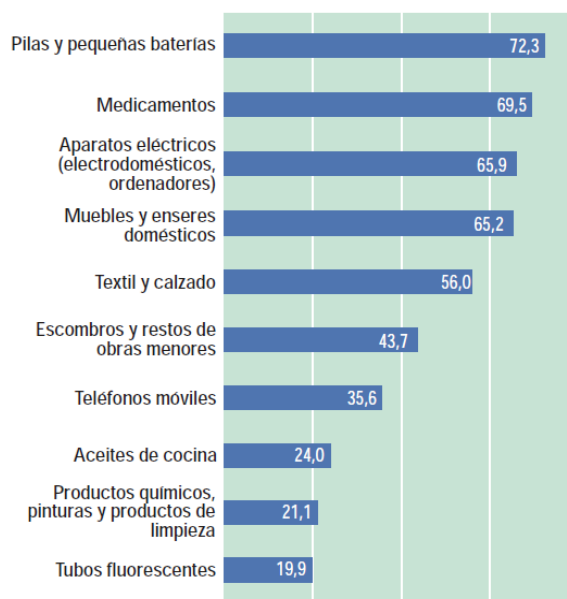


Figura MJ.22: Viviendas cuyos residentes depositan residuos en puntos específicos de recogida (%) [8].

	Papel y cartón	Vidrio	Envases de plástico, metálicos	Productos químicos, pinturas y productos de limpieza	Medicamentos	Pilas y pequeñas baterías	Aceites de cocina	Tubos fluorescentes
TOTAL	74,5	75,3	71,8	21,1	69,5	72,3	24,0	19,9
Andalucía	64,9	65,5	65,7	17,9	66,5	61,9	18,9	10,0
Aragón	84,6	86,9	80,2	10,5	61,5	73,4	31,5	18,4
Asturias (Principado de)	68,0	65,6	63,9	10,6	59,3	66,8	12,0	17,3
Balears (Illes)	77,2	76,0	69,3	21,7	66,3	72,3	35,0	21,0
Canarias	52,0	58,9	54,0	22,2	69,6	75,9	15,1	7,4
Cantabria	76,1	75,5	71,5	26,5	64,7	70,8	27,7	19,7
Castilla y León	74,5	75,4	58,1	14,2	66,6	73,2	19,6	16,6
Castilla-La Mancha	69,9	73,8	68,3	12,8	59,8	54,7	13,1	20,0
Cataluña	85,6	86,3	82,5	31,0	83,3	84,9	33,5	32,6
Comunitat Valenciana	72,1	72,0	68,1	11,6	66,6	66,5	13,6	21,8
Extremadura	46,0	47,9	51,8	6,3	61,4	55,5	12,2	2,6
Galicia	58,6	60,9	58,8	12,8	69,9	67,7	14,4	13,2
Madrid (Comunidad de)	88,0	86,5	85,4	31,9	68,9	81,1	31,2	23,1
Murcia (Región de)	63,0	71,3	62,7	16,6	68,7	70,1	23,0	22,4
Navarra (Comunidad Foral de)	87,5	86,1	83,3	20,6	66,7	75,6	42,9	15,5
País Vasco	92,3	91,6	90,2	37,3	73,5	82,3	41,3	31,4
Rioja (La)	90,7	90,1	89,9	12,7	68,4	80,5	38,8	20,1
Ceuta y Melilla	31,2	19,8	4,8	4,0	37,6	30,6	1,7	1,7

Tabla MJ.23: Viviendas (%) cuyos residentes depositan residuos en su punto específico de recogida, por tipo de residuos y Comunidad Autónoma [8].

Como se ha comentado anteriormente, el desecho de aceite que se genera por familia, con una media de 4 miembros, es de 18 a 24 litros al año [14]. Pero por otro lado también hay que tener en cuenta la cantidad de residuos de aceite de frituras que se genera en el sector industrial y en el sector HORECA. Según la “Encuesta sobre Generación de Residuos en la Industria Española de 2009” del INE, se sabe que:

- en 2009 en Almería contaba con el 15,7% de establecimientos industriales del sector de la alimentación, bebidas y tabaco (figura 24) [10].

Una parte de este porcentaje pertenece a industrias de alimentación, tanto del sector público como privado. Estas empresas que generan residuos de aceite, los usan en sus procesos a diario. Algunas de ellas son las fábricas de snacks, frutos secos, etc.

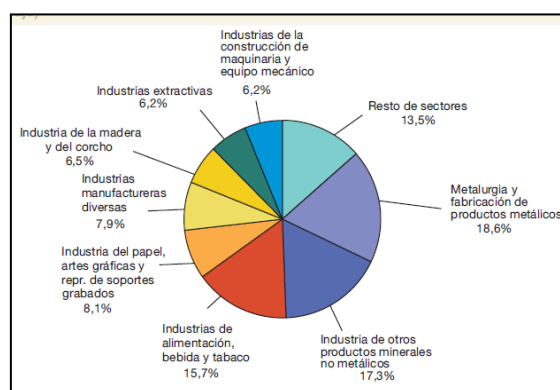


Figura MJ.24: Distribución de establecimientos industriales por sectores en Almería [10].

- en España los AVUs se consideran residuos no peligrosos a nivel legislativo, por lo que la cantidad generada de los mismos en el sector industrial se considera inapreciable respecto a la cantidad de residuos peligrosos.
- se sabe también que, aproximadamente, el 56,3% de las empresas españolas, producen más de 35 litros al mes, mientras que las minoritarias producen entre 26 y 35 litros mensuales de residuo de aceite [14].

En España está cada vez más organizada y regularizada la recogida de los AVUs garantizándose, de este modo, una fuente de materia prima a costo relativamente bajo respecto a un aceite no usado, para nuestro proceso.

El *Plan Nacional Integrado de Residuos, PNIR, de 2009*, incorpora acciones de prevención y minimización en la generación de residuos urbanos, su reutilización y reciclado para el período 2008-2015.

Algunos de sus puntos más destacados respecto a reciclado son:

- Evaluación de los sistemas de recogida de residuos implantados y otros posibles, con la finalidad de modificar o cambiar a sistemas de recogida más

eficientes y que se adapten a situaciones específicas (canal HORECA, pequeñas poblaciones, entornos rurales, zonas insulares etc.).

- Impulso a la recogida selectiva de residuos de aceites vegetales e implantación de sistemas en las ciudades de más de 25.000 habitantes.
- Ampliación de la red actual de puntos limpios: se dotarán a todos los municipios de más de 5.000 habitantes antes del 2010 y a todos los de más de 2.000 habitantes antes de 2015 (*extracto de la resolución PNIR de 2009, apartado de Reciclado*).

En el *PNIR* también podemos encontrar un listado con la clasificación de residuos (figura 25), en concordancia con lo especificado en el *Reglamento del Parlamento Europeo N° 574/2004 de 23 de febrero de 2004*, donde se puede ver que los AVUs se engloban en la familia de residuos no peligrosos.

(EXCEPTO LAS ESPECIFICADAS EN EL SUBCAPÍTULO 15 01)				
20 01 01	Papel y cartón	07.23	Otros residuos de papel y cartón	0 No peligrosos
20 01 02	Vidrio	07.12	Otros residuos de vidrio	0 No peligrosos
20 01 08	Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	09.13	Residuos mezclados de productos alimenticios y de la preparación de alimentos	0 No peligrosos
20 01 10	Ropa	07.61	Ropa usada	0 No peligrosos
20 01 11	Tejidos	07.62	Residuos textiles diversos	0 No peligrosos
20 01 13*	Disolventes	01.12	Disolventes usados no halogenados	1 Peligrosos
20 01 14*	Ácidos	01.21	Residuos ácidos	1 Peligrosos
20 01 15*	Alcalis	01.22	Residuos alcalinos	1 Peligrosos
20 01 17*	Productos fotoquímicos	02.14	Otros residuos de preparados químicos	1 Peligrosos
20 01 19*	Plaguicidas	02.11	Residuos de productos agroquímicos	1 Peligrosos
20 01 21*	Tubos fluorescentes y otros residuos que contienen mercurio	08.43	Otras máquinas y componentes de equipos desechados	1 Peligrosos
20 01 23*	Equipos desechados que contienen clorofluorocarburos	08.21	Grandes electrodomésticos desechados	1 Peligrosos
20 01 25	Aceites y grasas comestibles	09.13	Residuos mezclados de productos alimenticios y de la preparación de alimentos	0 No peligrosos

Figura 25. Clasificación de residuos con códigos LER incluida en el *PNIR*.

A pesar de considerar los AVUs como residuos no peligrosos, debido a que contaminan las aguas y provocan aumento en los costes de depuración, se están potenciando la regularización para su reciclaje, gestión y valorización.

Otras normativas vigentes aplicables a los AVUs en Andalucía son, el *Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos 1999-2008*, el *Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos 2004-2010*, y el *Reglamento de Residuos de Andalucía (borrador de Decreto de 2011)*. En este último se regulan por primera vez

los AVUs como residuos y en particular su recogida y sistema de gestión. Citamos a continuación algunos puntos clave de esta normativa:

- En relación con los residuos de AVUs, en 2015 se recogerá de forma selectiva al menos el 15% en peso de los aceites vegetales comercializados en Andalucía, ampliándose dicho porcentaje al 20% para el año 2020. En todo momento se valorizará el 100% de lo recogido (*extracto del Artículo 49, Punto 2, apartado m, del Capítulo III. Objetivos de gestión de residuos*).
- Los AVUs generados en domicilios particulares, comercios, servicios, establecimientos de hostelería o restauración y otros lugares asimilables tienen la consideración de residuos municipales. Por tanto, será competencia de las administraciones locales la recogida y el transporte hasta los centros de almacenamiento temporal, si los hubiera, o hasta las instalaciones autorizadas para su valorización.

Las entidades locales, podrán suscribir convenios con los sistemas de gestión autorizados, con el objeto de encomendar parcial o totalmente alguna de estas operaciones (*extracto del Artículo 107, recogida de los aceites vegetales usados, del Capítulo VII, residuos de aceites vegetales usados*)

- Con la finalidad de mejorar la prevención, el reciclado y la valorización de los residuos de aceites vegetales, las personas o entidades fabricantes, importadoras, adquirientes intracomunitarias o quienes pongan por primera vez en el mercado andaluz aceites de origen vegetal envasados, constituirán o participarán en los sistemas de la correcta gestión de los residuos generados por los productos que han puesto en el mercado (*extracto del punto 1 del Artículo 108, sistemas de gestión de los aceites vegetales usados, del Capítulo VII*).
- Los sistemas de gestión que se constituyan deberán sufragar los costes de las operaciones de recogida, incluida la realizada por las administraciones locales a través de sistemas de recogida selectiva mediante contenedores específicos en la vía pública, puerta a puerta para establecimientos de hostelería, puntos limpios u otros. También sufragarán los costes asociados al transporte de los residuos a los puntos de almacenamiento temporal; si los hubiera, y el transporte a las plantas de tratamiento final (*extracto del punto 2 del Artículo 108 del Capítulo VII*).
- Los sistemas de gestión realizarán campañas de información, concienciación ciudadana y sensibilización ambiental, para aumentar el grado de eficacia de la

recogida selectiva de estos residuos, en colaboración con las administraciones locales (*extracto del punto 3 del Artículo 108 del Capítulo VII*).

Se incluyen también en este borrador del *Reglamento de Residuos de Andalucía*, una serie de informes que los ayuntamientos deben de cumplimentar, los llamados “Informes Anuales de Gestión de Residuos Municipales”, que reflejan los datos de los gestores autorizados, los datos de recogida de residuos municipales en contenedores, en puntos limpios, recogida selectiva, etc.

En los últimos años, desde 2011 a 2013 aproximadamente, se viene sancionando a los recogedores de AVUs que sean gestores autorizados.

Ahora bien, una vez reciclado y gestionado este aceite, hay que realizarle un tratamiento de purificación, que elimine las impurezas, básicamente son los sólidos y el agua que puedan contener, para poder fabricar después otros productos de valor como pueden ser biocarburantes (biodiesel), jabones, pinturas y otros productos de la industria química (ceras, barnices, otros), compostaje, etc.

A continuación se muestran algunas aplicaciones para los AVUs, una vez purificados, para convertirlos en productos más valiosos (ver tabla MJ.6):

AGRICULTURA	INDUSTRIA MANUFACTURERA	INDUSTRIA ENERGÉTICA
Compostaje Piensos para animales	Lubricantes Ceras Pinturas, barnices Jabones, cremas, etc.	Biodiesel

Tabla MJ.6: Algunas aplicaciones posibles para los AVUs.

El pre-tratamiento de los AVUs puede incluir operaciones físicas o químicas de separación, como filtración, decantación, floculación o centrifugación, entre otras. Las distintas alternativas posibles se discutirán en el punto 4.3 de esta memoria.

4.1.1.3. A partir de productos químicos ya sintetizados

Los jabones sintéticos se caracterizan por contener productos químicos que modifican o confieren al jabón unas características físicas o químicas que afectan al color, olor, textura, viscosidad, etc.

Algunos de los compuestos químicos más usados en la industria cosmética actual son surfactantes y emulsificantes (lauril sulfato de sodio), agentes antibacterianos (triclosan, yodo metálico, benzoato de sodio), antiespumantes y emulsificantes (cocamida, betaína), modificadores de pH (ácido fosfórico, ácido cítrico), perfumes y colorantes sintéticos, etc.

Se usan estos productos en la industria porque son materias que se pueden adquirir fácilmente en grandes cantidades de cualquier proveedor que se dedique a este mercado, que se obtienen productos atractivos a la vista, olfato y textura, y que muchos de ellos son de bajo coste, hecho que interesa a los grandes productores.

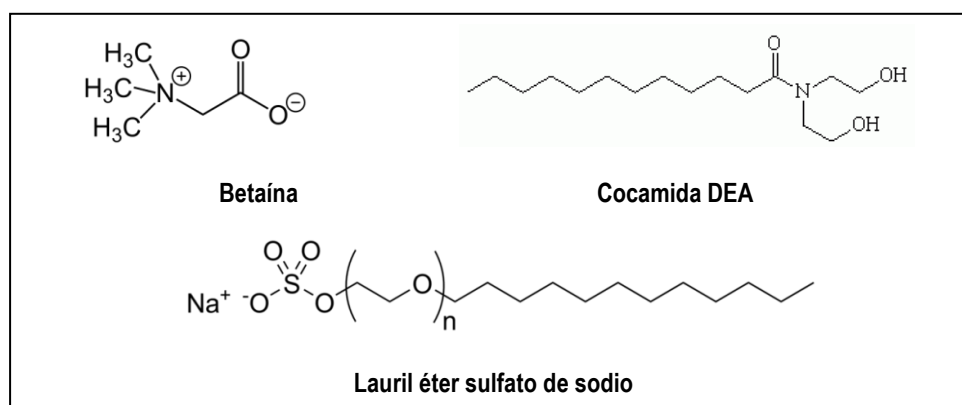


Figura MJ.26: Fórmulas químicas de algunos de estos productos.

El *lauril sulfato de sodio (SLES)* es un agente detergente sintético y surfactante que se encuentra presente en numerosos productos de cuidado personal y del hogar, como lavavajillas, detergentes, geles, champús, jabones y otros limpiadores.

Muchos de estos productos químicos han resultado ser tóxicos, perjudiciales e irritantes para la piel, e incluso contaminantes para el medio ambiente. Pero pese a eso se siguen utilizando, como podemos ver en los ingredientes de cualquier producto de higiene personal de venta en los supermercados.

Según estudios publicados por el “*Environmental Working Group*” de América, se han encontrado riesgo tóxico en muchos de los productos que forman las mezclas de cosméticos. La tabla MJ.7 muestra, la función que desempeñan al agregarlos a las mezclas de productos de higiene personal y del hogar, el riesgo tóxico que suponen y algunos sinónimos que podemos encontrar en las etiquetas de los productos.

COMPUESTO QUÍMICO	FUNCIÓN	RIESGO TÓXICO	SINÓNIMO
Parabenos	Conservante	Alteraciones hormonales Desórdenes metabólicos Reacciones alérgicas en la piel	Metilparabeno Propilparabeno, E216, etc.
Formaldehído	Conservante	Muy cancerígeno Tóxico respiratorio	Formalina Aldehído fórmico Oxometano, BFV, etc.
Ftalatos	Fijación de fragancias artificiales en piel y ropa Plastificadores	Problemas aparato reproductor de fetos Depresión Problemas endocrinos y cardíacos	Ésteres de ácido ftálico DEHP, DMP, DEP, etc.
Dióxido de titanio	Blanqueador	Irritación Daño genético Cancerígeno	Pigmento blanco 6, TiO ₂ , blanco 1700, etc.
Lauril éter Sulfato de sodio	Surfactantes Emulsificante Espumante	Irritación Potencial cancerígeno	Sal de sodio, dodecil sulfato de sodio, lauril éter sulfato, etc.
Fenol	Aromático, conservante, agente antimicrobial	Neurotoxicidad Toxicidad respiratoria	Benzenol, ácido carbólico, oxibenceno, fenilalcohol, etc.
Fragancias y colorantes artificiales	Aromatizar, resaltar cualidades y atraer al cliente	Alergias, hipersensibilidad Hiperactividad Uso de metales pesados	Se designan con la letra E

Tabla MJ.7: Extracto del informe "Análisis de químicos tóxicos en jabones convencionales" [18], [19].

4.1.2. Catalizador básico

Como hemos comentado anteriormente en esta memoria, para poder llevar a cabo la reacción de saponificación de los ácidos grasos de aceites y grasas, es necesaria la acción de un álcali. Los más usuales son el hidróxido de sodio y el de potasio.

La diferencia principal radica en el tipo de jabón que queramos obtener. Si se usa NaOH, obtendremos un jabón más duro y de tipo sólido. Por el contrario, al usar KOH, se tendrán jabones más blandos, ya que este es más soluble en agua que el NaOH, y la textura será más líquida.

En el procedimiento ordinario con NaOH, se usa el cloruro de sodio (NaCl) en grandes cantidades para precipitar el jabón de su disolución en la lejía, que es la mezcla del agua con la glicerina y algo de álcali. En cambio, los jabones saponificados con KOH, no pueden precipitarse de la lejía por el cloruro de sodio, porque se formaría jabón de sodio, por lo que se usará el KCl.

Los dos hidróxidos son similares, por lo que tiene características y propiedades físicas y químicas similares. Algunas de ellas son las siguientes:

- Son compuestos inorgánicos, bases fuertes.
- A temperatura ambiente son sólidos, de color blanco e inodoros.

- Son higroscópicos, absorben agua de la atmósfera, y deliquescentes, se disuelve al aire libre lentamente. En contacto con el agua o en presencia de humedad pueden generar desprendimiento de calor. Genera reacciones exotérmicas muy violentas.
- Absorben rápidamente el CO_2 de la atmósfera.
- Son solubles en agua, alcohol y glicerina. El NaOH es insoluble en acetona y el KOH en NH_3 .
- Reaccionan fácilmente con ácidos.
- Tienen una estructura cristalina y forman enlaces iónicos (figura 27).
- Son inestables en caso de calentamiento.
- No son inflamables.
- Muy peligrosos para la salud: muy tóxicos por ingestión e inhalación, pueden causar quemaduras graves en contacto con los ojos y piel.
- Son corrosivos en ambientes húmedos y en contacto con metales como zinc, aluminio, estaño y plomo, originando hidrógeno (gas combustible y explosivo).

Las principales diferencias entre los dos álcalis se muestran en la tabla MJ.7:



PROPIEDADES	Nombre común Fórmula química	PM (g/mol)	PE y PF (°C)	ρ (kg/m ³)	Riesgo específico	Usos comunes y aplicaciones industriales	Presentación comercial (figura 28)
HIDRÓXIDO DE SODIO	Sosa cáustica NaOH	40	1390 318,4	2,130	No usar agua 	Fabricación de papel, tejidos de algodón, detergente y jabones, explosivos, pinturas, lavandería y blanqueado, extracción electrolítica, desatascador de cañerías, etc.	Se usa en forma sólida (escamas, lentejas, etc.) o como solución de 50%
HIDRÓXIDO DE POTASIO	Potasa cáustica KOH	56,10	1320 380	2,044	Corrosivo 	Fabricación de jabón, blanqueado, elaboración de ácido oxálico y sales potásicas, cerillas, absorbente de CO ₂ y H ₂ S, etc.	Se presenta en líquido (llamado lejía), terrones, barras, escamas, lentejas

Tabla MJ7: Comparación de algunas propiedades de los hidróxidos de sodio y potasio.

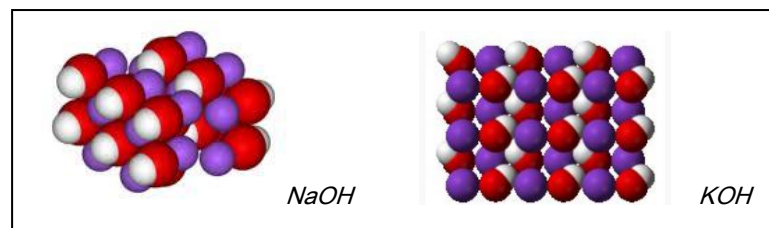


Figura MJ.27: Estructura molecular del NaOH y KOH.



Figura MJ.28: Aspecto de los hidróxidos de sodio y potasio para su venta.

Algunos consejos para su correcta manipulación y almacenamiento son:

- Evitar la formación de polvo.
- No fumar, comer o beber durante su manipulación.
- Su manejo se debe realizar con las máximas normas de seguridad, guantes, careta, ropa de trabajo, etc.
- Fomentar una higiene personal adecuada después de su manipulación.
- Al realizar la disolución del hidróxido con agua, disolver en agua fría, cuanto más mejor. Y verter en este orden: 1º el agua y 2º el hidróxido, ya que la reacción es muy exotérmica.
- Agitar vigorosamente la mezcla para facilitar su disolución.
- Mantener en recipientes cerrados lejos de la humedad y del calor.
- Conservar en recipientes que no contengan ácidos, zinc, aluminio, estaño, plomo, etc., o que no sean de estos materiales, por peligro de corrosión.
- Evitar recipientes de algunas clases de plásticos, caucho y revestimientos, en el caso del NaOH.

4.1.3. Agua

El agua tiene una importancia considerable en la fabricación del jabón, constituye un intermedio activo para la unión de los cuerpos grasos y los álcalis en la formación del jabón. Sin el agua esta combinación sería imposible. Además el agua ejerce otros efectos, pues se sabe que los jabones de diferentes fábricas, manufacturados por el mismo procedimiento y con idénticas materias, presentan una contextura y granulación perfectamente distinta, debido a la calidad del agua empleada en la mezcla [20].

El agua para fabricar jabones, por tanto, tiene la función de disolver el álcali y ser el medio donde se produce la saponificación. Se comporta como una especie de catalizador. Normalmente, un jabón puede contener alrededor de un 15-20% de agua una vez curado, si se trata de un jabón de tocador sólido, en pastilla. Pero durante la preparación del mismo, la cantidad de agua puede oscilar entre el 35 y 45%, dependiendo de la receta, para estos jabones sólidos, y entre el 65 y 80% para los jabones líquidos. Por tanto la solubilidad de los mismos en agua es una característica a tener en cuenta (tabla MJ.8):

[20] Ricardo Ferrer. "Manual moderno para la fabricación de jabones".

Solubilidad (g de jabón/100 g de agua)	Oleato de sodio	18,1
	Palmitato de sodio	0,8

Tabla MJ.8: Solubilidad de algunos jabones puros a 25°C [20].

El agua contiene dos tipos de sólidos, los suspendidos y los disueltos en ella. Los sólidos suspendidos consisten de partículas de material orgánico e inorgánico y son los que causan la turbidez. Los sólidos disueltos son aquellos que se encuentran completamente disueltos y no se pueden percibir con la vista. Estos últimos provienen de la acción disolvente del agua al estar en contacto con los minerales del acuífero o del suelo. Los sólidos disueltos aparecen solo cuando el agua es evaporada. El residuo que queda al evaporar el agua consiste de sales como: carbonatos, cloruros o sulfatos de calcio, sodio, potasio, magnesio, etc.

La cantidad de sales o electrolitos disueltos en el agua se puede cuantificar mediante una propiedad importante: la dureza. Se dice que un agua puede ser blanda o dura, en función de esta cantidad. Un agua será blanda si tiene bajo contenido de cationes calcio / magnesio u otros, y será dura si este contenido es alto.

Los jabones precipitan con las aguas duras, pero si se usa este tipo de agua en la fabricación, se observa que no se genera mucha cantidad de espuma y no se disuelve bien, por la gran cantidad de sales disueltas o electrolitos, y pese a que el jabón también es un tipo de sal, es comparativamente menos soluble que un electrolito.

En el momento en que se ha completado la reacción de saponificación entre la grasa y el NaOH ó KOH, se precipitan los coágulos espesos de jabón por adición de cloruro sódico (NaCl) o potásico (KCl), respectivamente, produciéndose un **efecto** químico conocido como el del ión común, debido al exceso de iones sodio o potasio en el agua. Al agregar el electrolito a la mezcla, la sal más soluble compite con las moléculas de jabón para solubilizarse, y al aumentar esta cantidad, el agua tiende a asociarse con la sal más soluble, dejando de interactuar con el jabón. El resultado final que obtendremos será, por un lado, el jabón semi-sólido, y por otro la disolución. Este fenómeno es conocido como precipitación, y se caracteriza por la generación de dos fases o capas.

Después de todo este análisis, deducimos que lo ideal es usar un agua lo más blanda posible. Si no fuera posible habrá, que añadir más cantidad de sal a la mezcla

una vez saponifique, para que las sales se combinen con las del agua, aunque esta práctica puede tener un efecto contraproducente a la hora de obtener el producto final, ya que puede irritar la piel. Por lo que hay que buscar una alternativa, de debe tratar el agua antes de usarla en el proceso, para eliminar parte de estos electrolitos y convertirla en agua blanda, ya que en nuestro caso particular, Almería, el agua de la red es bastante dura.

Normalmente, los distintos tipos de agua de los que podemos disponer para fabricar jabones son las que se detallan en la lista siguiente:

- **Agua de la red:** dependiendo de la zona de donde se extraiga, puede ser blanda (proviene de ríos) o dura (proviene de pozos en la tierra). Si se usa directamente sin ningún tipo de tratamiento previo (agua dura), el jabón reaccionará con las sales de calcio, magnesio, hierro u otras, disueltas en ella y se producirán jabones insolubles, que no lavan.

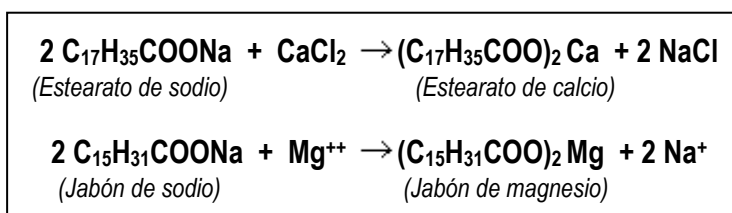


Figura MJ.29: Reacciones de los jabones con las sales disueltas en aguas duras.

Sólo se puede utilizar en caso de que sean blandas, como hemos comentado anteriormente. Además de estas sales, el agua de la red suele venir con cloro gas disuelto que añaden para evitar contaminación bacteriana. Como el cloro es un oxidante, no es recomendable usarla directamente en nuestro proceso, ya que puede modificar características de algunos aceites, vitaminas, aceites esenciales, etc.

- **Agua desmineralizada o desionizada:** es una opción recomendable en caso de no poder usar un agua blanda. Se trata del agua a la cual se le han quitado los cationes (sodio, calcio, hierro o cobre, entre otros) y los aniones (carbonatos, fluoruros, cloruros, etc.) mediante un proceso de intercambio iónico. Esto significa que se le han quitado todos los iones excepto los hidruros H^+ (más rigurosamente H_3O^+ y el OH^-), pero puede contener pequeñas cantidades de impurezas no iónicas (compuestos orgánicos). Esta agua se obtiene mediante un “dispositivo ablandador de agua”, que contiene resinas de intercambio

iónico que retienen los cationes de carga +2 o mayores (Ca^{++} Mg^{++}), y dejan pasar los cationes de carga +1 (Na^+ o K^+).

Tiene valores típicos de resistividad (18,2 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$), o de su inversa, la conductividad (0,055 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Aunque presenta como inconvenientes, que puede cambiar su pH con facilidad al ser almacenada, ya que absorbe el CO_2 atmosférico, disolviéndose y formando ácido carbónico (aumenta la acidez); y que es bastante agresiva con los metales, incluso con el acero inoxidable, por lo que se recomienda almacenarla y manipularla en recipientes de plástico o vidrio.

- **Agua destilada:** se obtiene mediante destilación por calor y posterior condensación por enfriamiento. Es cara y no es fácil de conseguir. No es necesario utilizar un agua así para jabones, más bien se usa en laboratorios farmacéuticos para fabricar medicamentos y en laboratorios de universidades e institutos.
- **Agua osmotizada:** se obtiene mediante un proceso que consiste en hacer pasar el agua a presión a través de una membrana semipermeable, obteniendo una reducción considerable de la concentración de sales en el agua a la salida. Este mecanismo se conoce como *ósmosis inversa*. El resultado de la misma es la separación de las sales, por un lado, y el agua purificada con menor contenido en sales que la inicial, por el otro. Esta reducción en la concentración de sales es porcentual y depende del diseño de la planta de ósmosis inversa y de la calidad del agua a tratar. La reducción en [sales] puede oscilar aproximadamente desde el 50 al 95% [21].

Para hacernos una idea de lo que significa la concentración de sales en el agua, podemos ver las diferencias de salinidad que hay entre los distintos tipos (tabla MJ.9):

TIPO DE AGUA	SALINIDAD (ppm)
Ultrapura	0,03
Pura (calderas)	0,3
Desionizada	3
Dulce (potable)	<1.000
Salobre	1.000-10.000
Salina	10.000-30.000
Marina	30.000-50.000
Salmuera	>50.000

Tabla MJ. 10: Rangos de salinidad de los diferentes tipos de agua [22].

Además los valores de salinidad varían según la procedencia y fenómenos físico-químicos a las que están sometidas las aguas. Por ejemplo, la salinidad en el Mar Mediterráneo es de 36.000 ppm, mientras que en Mar Muerto (80.000 ppm) o el Golfo Pérsico (50.000 ppm) es mucho mayor.

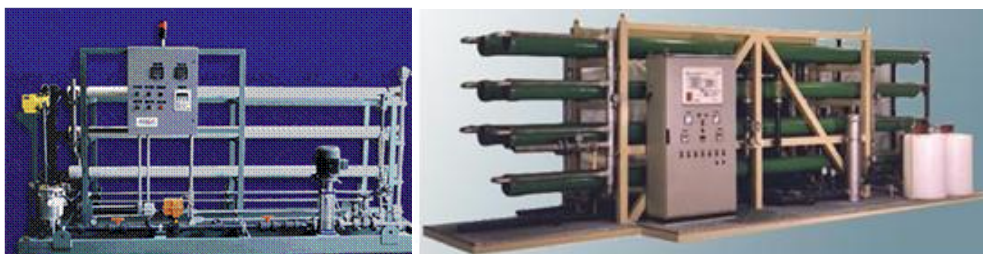


Figura MJ.30: Fotos de unidades de ósmosis inversa a nivel industrial [22].

4.1.4. Aditivos: sal, aromas, fragancias, pigmentos, colorantes

Las materias principales son los aceites y/o grasas, el álcali y el agua. Los demás ingredientes sirven para mejorar propiedades como la textura, el olor, o el color de los jabones, por ello no seremos tan exhaustivos en el análisis como en los apartados anteriores (4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3).

La sal debe de elegirse dependiendo del álcali que hayamos seleccionado. Si se opta por NaOH, elegiremos la correspondiente sal de cloro, NaCl (conocida como sal común). En caso contrario, elegiremos el KOH como base y por tanto su sal, KCl. La cantidad normal de sal a añadir es entre un 5% y un 10% de la cantidad de aceite que pongamos al inicio del proceso [20].

Para las fragancias y deodorantes, elegiremos aceites esenciales y plantas aromáticas. La cantidad normal en una formulación comercial está entre el 0,2-2,5% del total de jabón terminado.

Para los colorantes, usaremos pigmentos naturales (amarillo azafrán, rojo cochinilla, verde clorofila, etc.) en vez de los sintéticos. La cantidad es mucho menor, inapreciable, de 0,01 a 1% del total de jabón terminado.

4.2. TIPO DE PRODUCTO A OBTENER A PARTIR DE LOS AVUs

Algunas de las reacciones químicas de los ácidos grasos tienen especial importancia, ya que se emplean en procesos de manufactura de productos en varias industrias.

Como se ha comentado a lo largo de este proyecto, y más extensamente en el punto 4.1.1.2. (AVUs como materia grasa de partida), los aceites de freír que desechamos en casa y en el sector HORECA además de en jabón se pueden convertir en otros productos interesantes como son fertilizantes, pinturas, piensos para animales, biocarburantes (biodiesel), etc. A continuación se detallan los más importantes y que pueden ser una competencia directa para con nuestro producto.

- Biodiesel

Es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como son los aceites vegetales o la grasas animales, usadas o no previamente, mediante procesos industriales en los que intervienen reacciones de esterificación y transesterificación. Puede ser un sustituto total o parcial del gasóleo convencional obtenido del petróleo.

Las materias primas más usadas para obtener biodiesel son semillas aceitosas como las de mostaza, maíz, sorgo, soja, palma africana, girasol, cacahuate y coco, además de la grasa animal y los aceites usados de cocina.

ACEITES VEGETALES CONVENCIONALES
Aceite de Girasol
Aceite de Colza
Aceite de Soja
Aceite de Coco
Aceite de Palma
ACEITES VEGETALES ALTERNATIVOS
Aceite de <i>Brassica carinata</i>
Aceite de <i>Cynara cardunculus</i>
Aceite de <i>Camelina sativa</i>
Aceite de <i>Crambe abyssinica</i>
ACEITES MODIFICADOS GENÉTICAMENTE
Aceite de Girasol de Alto Oleico
GRASAS ANIMALES
Sebo
ACEITES DE FRITURA USADOS

Figura MJ.31: Principales aceites vegetales como materia prima para ésteres metílicos.

La reacción principal para obtener el biodiesel es la transesterificación (o alcoholólisis) de un aceite vegetal, en la cual una molécula de triglicérido, componente mayoritario en un aceite, reacciona con un alcohol, generalmente ligero, bajo la acción de un catalizador, para producir una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina [23].

La figura MJ.32 muestra el esquema general de la reacción de transesterificación de aceite vegetal con metanol. Por cada mol de triglicérido que se consume, se

necesitan 3 moles de metanol y se obtienen 3 moles de ésteres metílicos y un mol de glicerina.

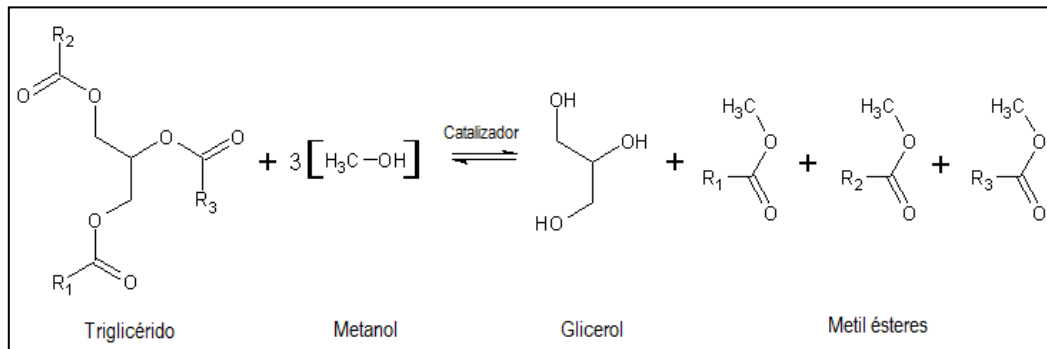


Figura MJ.32: Reacción de transesterificación general con metanol.

El producto de la reacción es muy similar al gasóleo obtenido del petróleo, y puede usarse en motores de ciclo diesel, aunque algunos motores requieren modificaciones.

La reacción consta de tres etapas consecutivas y reversibles en las que el triglicérido es convertido consecutivamente en di y monoglicérido, y finalmente en glicerina.

El catalizador que se usa para este tipo de reacción puede ser homogéneo (ácido o básico) o heterogéneo. Algunos de los más usuales son:

- Ácidos: H_2SO_4
- Básicos: KOH o NaOH
- Heterogéneos: enzimas, resinas de intercambio iónico, óxidos metálicos, etc.

Los catalizadores básicos presentan un problema porque forman jabones por neutralización de los ácidos grasos libres presentes en el aceite o bien por saponificación de los triglicéridos del aceite. En este caso son reacciones secundarias (figura MJ.33) que se deben evitar, si el producto que vamos a obtener es el biodiesel [23].

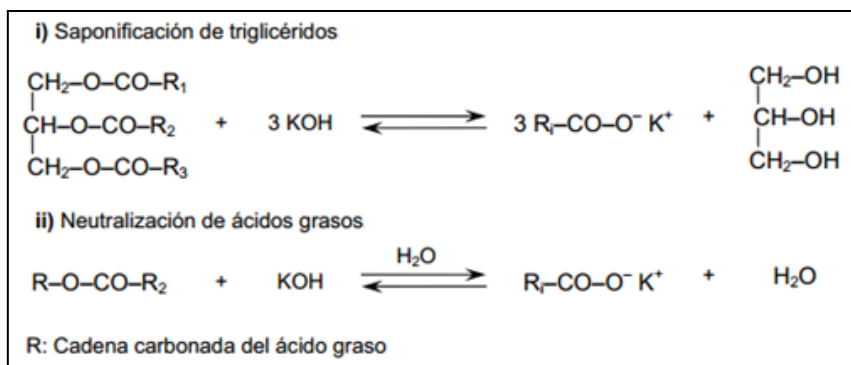


Figura MJ.33: Reacciones secundarias indeseables en la fabricación de biodiesel.

La formación de jabones consume parcialmente el catalizador, disminuye el rendimiento de la reacción y dificulta las etapas de separación y purificación [24].

Se pueden evitar estas reacciones secundarias del siguiente modo:

- *Neutralización* → usando aceites con bajo índice de acidez, aunque los más rentables económicamente presentan cierto contenido en AAGG (es el caso de aceites y grasas usadas).
- *Saponificación* → parcialmente, usando aceites y alcoholes esencialmente anhidros y eligiendo cuidadosamente las condiciones de reacción, sobre todo la temperatura y la concentración de catalizador.

Algunas de las ventajas e inconvenientes del biodiesel se muestran en la tabla:

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Disminuye las emisiones CO e hidrocarburos volátiles de los vehículos	Explotación masiva de plantaciones, deforestación, e incluso hambre, etc.
Evita los fenómenos de erosión y desertificación, como alternativa para el uso de suelo agrícola abandonadas por los agricultores	Menor capacidad energética, aproximadamente un 3% menos
Disminuye gases de efecto invernadero. Disminuye las emisiones de CO ₂ entre el 25% y 80%	Problemas de almacenamiento y manipulación. Es un producto hidrófilo y se degrada notoriamente más rápido que el petrodiesel
No tiene compuestos de azufre, por lo que no los elimina como gases de combustión	No está claro el tiempo de vida útil (de unos días a meses e incluso años)
Puede ser utilizado como aditivo para motores a gasolina (nafta) para limpieza interna	Rendimiento promedio: 900 L/Ha cosechada (oleaginosas). No es práctico en países con poca superficie cultivable

Tabla MJ.11: Algunas ventajas e inconvenientes del biodiesel.

Desde hace unos años y en el presente se están investigando otros métodos de obtención de biodiesel a partir de materias primas diferentes y más ventajosas. Por ejemplo, a partir de microalgas (*Scenedesmus Almeriensis*, *Chorella Protothecoides*,

etc.), llamado de 3ª generación; con hongos unicelulares que contienen lípidos (*Gliocladium roseum*) o a partir de tierras usadas de café.

Pese a todo esto, en los últimos años se está dudando que sea un producto realmente rentable y además aún es poco accesible, al menos en nuestra ciudad. Tan sólo hay 3 gasolineras en activo, de las 6 que comenzaron en nuestra provincia, que actualmente surtan este tipo de biocarburante. Están situadas en Cuevas de Almanzora, La Mojonera y Balanegra. El precio medio del biodiesel en agosto de 2013 fue de 1,35 €/L [25].

Respecto a las plantas de producción de biodiesel en nuestra provincia, tan sólo existen 2, y una de ellas parece estar inactiva. Las dos empresas son “*Albabio SL*” en Níjar, y “*Biocarsa, Biocarburos de Almanzora SA*” en Cuevas de Almanzora. La primera usa como materia prima aceites vegetales usados combinado con grasas animales. Puede ser una clara competidora con el proceso objeto de nuestro estudio, a la hora de adquirir los AVUs, pero nuestra producción es insignificante en comparación con la cantidad que ellos demandan. Su producción anual ronda las 6.000 toneladas. El aceite se recepciona cada día en grandes camiones cisterna desde Barcelona, que proceden del puerto de Rotterdam en los Países Bajos.

En el caso de la fábrica “*Biocarsa*”, inaugurada en 2008, arrancó como pionera en la fabricación de biocombustible en Andalucía, pero supuestamente por sus deudas con proveedores y por impago del impuesto de hidrocarburos, se ha visto obligada a cerrar en 2012.

Se ha sabido por varias fuentes, que Almería contará con una tercera planta de producción de biodiesel y refinería, “*Conespa*” en Carboneras. Actualmente está en construcción y será capaz de transformar aceite usados en 90.000 Tm de biodiesel.

- Abono, fertilizante y biogás

Un proyecto de investigación del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS)-CSIF, titulado “*Demostración del ciclo de residuos cero mediante la completa valorización de los residuos del refinado de aceites vegetales usados*”, que ha finalizado recientemente, en febrero de 2013, surgió para dar solución a los residuos generados en el proceso de conversión de los AVUs de uso doméstico en biodiesel. Se ha logrado obtener energía y fertilizantes utilizando estos AVUs, con el logro añadido de eliminar en el proceso todos los residuos.

- Jabón

Mediante reacción de saponificación, explicado anteriormente en esta memoria (punto 1.2. Fuentes de obtención. Fabricación de jabones).

Dependiendo de su destino, los jabones obtenidos se procesan de una forma u otra. Si se les deja la glicerina y se emplean sales potásicas para saponificar, se obtienen jabones finos, de baja alcalinidad e hidratantes, adecuados para el uso humano. De otra forma, se obtienen jabones más enérgicos, de elevado poder emulsificante, adecuados para la limpieza o el uso industrial.

Aunque el proceso de fabricación de jabón sea industrial o artesano, esencialmente consta de tres fases:

1. Saponificación
2. Sangrado
3. Moldeado

1. Saponificación:

Se hierve la grasa y/o aceite en grandes calderas, y se añade lentamente la disolución de sosa o potasa cáustica con agua, agitando la mezcla continuamente hasta que comience a ponerse pastosa. En este momento es cuando tiene lugar la *reacción de saponificación*.

2. Sangrado:

El jabón obtenido mediante la reacción se deposita en la superficie en forma de gránulos. Para que cuaje y precipite completamente se le añade sal común, NaCl o KCl, dependiendo del hidróxido que hayamos seleccionado, NaOH o KOH. Esta operación recibe el nombre de *sangrado o salado*. Con ella se consigue la separación total del jabón, que flotará sobre la disolución de glicerina, de álcali que no ha reaccionado y de agua. Se forman dos fases que se pueden distinguir por la diferencia de densidades.

3. Moldeado:

Después del sangrado, el jabón se pasa a otro recipiente donde se le pueden añadir perfumes, colorantes, productos medicinales, etc. Entonces, aprovechando que

aún está caliente, se vierte en moldes, se deja enfriar y se corta en pedazos, en caso de que estemos fabricando un jabón sólido en pastillas.

Si vamos a obtener un jabón líquido, en este segundo recipiente donde se le añaden aditivos, hay que agregar más agua para diluir la mezcla de jabón formada en las etapas anteriores. Se deja enfriar y luego se embotella en los botes del tamaño seleccionados.

- Otros

Pinturas, barnices, ceras

4.3. TRATAMIENTO PREVIO DE PURIFICACIÓN DE LOS ACEITES

En este apartado de la memoria se describen algunas de las operaciones mecánicas sólido-fluido que se pueden realizar al aceite para su purificación.

Se trata de operaciones cuyo objetivo es la separación, mediante la aplicación de fuerzas, bien de los sólidos contenidos en una fase fluida (líquida o gaseosa), bien de dos fases fluidas de diferente densidad. Las más utilizadas son la filtración, sedimentación gravitatoria, centrifugación y prensado.

A la hora de plantearse una separación determinada, pueden existir diferentes alternativas técnicamente viables.

A continuación se describen las características principales de cada una de las operaciones para poder seleccionar la alternativa más óptima para el proceso que se describe en esta memoria.

4.3.1. Sedimentación y decantación

Se emplea para la separación de partículas sólidas contenidas en líquidos y para la separación de emulsiones de dos fases líquidas inmiscibles. En el caso que estudia este proyecto, se tiene la suma de los dos objetivos anteriores: separar las partículas sólidas de distintos tamaños contenidos en una mezcla de dos líquidos inmiscibles, como son el agua y el aceite.

4.3.2. Filtración

Consiste en la separación de los sólidos contenidos en una suspensión mediante una placa perforada, llamada medio filtrante, que permite el paso del líquido y retiene

las partículas sólidas. Los sólidos muy finos y fácilmente deformables pueden obturar el medio filtrante formando tortas, para hacer viable la separación se puede aumentar artificialmente la porosidad de las tortas mediante coadyuvantes de filtración, utilizando: tierras de diatomeas, restos de esqueletos de algas microscópicas y perlitas.

4.3.3. Desbaste

Tiene como objetivo separar las sustancias sólidas de tamaños grandes y medianos, proteger las instalaciones acuáticas y separar y recuperar distintos materiales. Esto se consigue mediante unos dispositivos en forma de rejas de distinto tamaño:

- Rejas gruesas: retienen los sólidos de mayor tamaño y son manuales o auto-limpiables.
- Tamices: retienen sólidos de menor tamaño, por lo que tienen mallas de menor paso de sustancias.

4.3.4. Centrifugación

La centrifugación comprende operaciones de sedimentación o filtración que utilizan una fuerza centrífuga para incrementar la velocidad de separación. Es una alternativa a los procesos convencionales. Tiene un coste elevado, pero puede ser económicamente viable en algunos casos:

- Si la diferencia de densidades entre las dos fases es pequeña (como es nuestro caso, entre 70-80 kg/m³).
- Si los productos tienen un alto valor añadido.

4.3.5. Floculación y coagulación

La floculación es un proceso químico mediante el cual se aglutinan las sustancias presentes en el agua, para facilitar después su decantación. Se suele facilitar el proceso añadiendo sustancias floculantes. La sustancia formada aumenta su peso molecular lo que favorece su precipitación y por tanto su separación del resto. La formación de estos flóculos se favorece con la adición de polielectrolitos que se caracterizan por ser moléculas orgánicas poliméricas que son ionizables. Forman

puentes entre las partículas, dando lugar al fenómeno de la floculación con partículas de mayor tamaño que son más fácilmente sedimentables.

Algunos de los floculantes más usados son copolímeros a base de acrilamida (polielectrolitos catiónicos), poliacrilamidas (no iónicas), poliacrilatos (aniónicos), sílice diluida al 0,5-1% como SiO₂, polielectrolitos naturales como almidones, taninos, alginatos, etc.

4.4. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL JABÓN

Existen varios métodos y variaciones para obtener jabones, pero principalmente pueden resumirse en dos tipos:

- a) Proceso en frío o CP (Cold Process)
- b) Proceso en caliente o HP (Hot Process)

Ambos procesos usan la saponificación directa como reacción principal, aunque cada uno presenta algunas variantes que se detallan a continuación.

El proceso en frío es más común en la elaboración artesanal de jabón por ser más sencillo de realizar, mientras que el proceso en caliente es más complicado y requiere de mayor temperatura, pero en cambio posibilita la recuperación de productos cuya consecución no ha sido exitosa, mediante el fundido y reutilización de los mismos. Por esta razón es más utilizado en la elaboración industrial de jabón natural.

4.4.1. Proceso en frío y curación del jabón

Se parte desde los reactivos iniciales, aceites y/o grasas y disolución de álcali-agua, en frío. Se suele hacer con hidróxido sódico y se obtienen jabones duros. El principal inconveniente de esta técnica ocurre cuando partimos de grasas sólidas (sebo). Para solventarlo se calientan y se mezclan con grasas líquidas (aceites) para conseguir una mezcla con un menor punto de fusión y por tanto líquida a temperatura ambiente.

Los jabones obtenidos por este proceso se deben someter a un proceso de curado, es decir, hay que dejarlos reposar de 4 a 8 semanas para que la reacción de saponificación se complete, y el jabón vaya adquiriendo un pH menos básico. Este

tiempo de curación también permite que el jabón pierda el exceso de agua que tenga y se vaya endureciendo.

La reacción en frío se suele usar más para la elaboración artesanal y casera de jabones (jabón a partir de los aceites usados de uso doméstico).

El jabón obtenido suele tener color céreo, no es especialmente duro y se suele emplear rallado en forma de polvo.

4.4.2. Reacción en caliente y gelificación

Consiste en tener el producto durante unas dos o tres horas entre 50 y 80°C, bien en horno o al baño maría. El jabón permanece en un estado fluido y de mucha viscosidad (de ahí el nombre de gelificación). De esta forma se consigue que la saponificación se complete, por lo que no es necesaria la curación posterior del jabón obtenido.

Como ventaja de este método, cabe destacar que se pueden añadir aceites esenciales y colorantes después del proceso de saponificación, siempre y cuando el jabón aún no se haya solidificado. De esta forma preservamos estos componentes del pH básico del proceso de saponificación y que podría alterar su composición.

Fabricación industrial de jabón

En la industria del jabón el proceso más comúnmente utilizado es el proceso en caliente. Las grasas se saponifican en una solución de hidróxido sódico en una caldera abierta, que tiene en el fondo tubos de vapor cerrados, para el calentamiento indirecto, y otros abiertos para un calentamiento directo, pasando el vapor a una velocidad adecuada para mantener la agitación y la ebullición.

Cuando la reacción ha sido completada, se añade sal con lo que precipitan gruesos coágulos de jabón. La capa acuosa, que contiene glicerina, se elimina y se concentra, purificando la glicerina por destilación al vacío. El jabón crudo contiene glicerina, álcali y sal y, para separar estas impurezas, se hierve con suficiente cantidad de agua para que se forme un líquido homogéneo, volviendo a precipitar el jabón por adición de sal. Este proceso puede repetirse, para recuperar totalmente la glicerina y eliminar las impurezas. Finalmente, se hierve con agua suficiente para que se forme una mezcla blanda de la que, dejándola en reposo, se separa arriba una capa

homogénea del llamado jabón de caldera (o jabón base), producto que contiene un 69-70% de jabón, 0,2-0,5% de sal y alrededor de un 30% de agua. Parte de este producto se vende como tal, y otra parte tras adicionarse perfume y colorante se destina a usos domésticos.

A los jabones para desengrasar se les añade arena, carbonato sódico o productos de carga; a los jabones medicinales, se les adiciona cresol u otros antisépticos. Los jabones transparentes se preparan disolviendo en alcohol jabón parcialmente desecado.

4.5. MODO DE OPERACIÓN

El modo de operación de cualquier planta o instalación, se basa principalmente en el funcionamiento del reactor químico, que es el núcleo del proceso.

El reactor es el equipo principal de la mayoría de procesos químicos en la industria, y la elección correcta del tipo a utilizar, puede mejorar realmente la seguridad del proceso. Algunos factores como el tamaño de la planta (producción anual), el capital del que dispongamos y la complejidad relativa, entre otros, influyen en la selección del modo de operación de la planta.

4.5.1. Proceso continuo

Los típicos reactores continuos son recipientes agitados, ya sea de modo simple o en cascada, con tuberías de flujo de descarga. En estos sistemas todos los reactivos son continuamente cargados al reactor y los productos son continuamente descargados.

Los reactores continuos se caracterizan por trabajar en condiciones estacionarias, en las que tanto el calor generado como la composición permanecen constantes durante la operación.

4.5.2. Proceso discontinuo

Un reactor por lotes es un recipiente agitado en el cual los reactivos son precargados y que se vacía cuando la reacción se ha completado.

La ventaja clave de este tipo de proceso es la flexibilidad. Por eso se utilizan mayoritariamente en la industria química, alimentaria o farmacéutica (ver tabla MJ.12), donde es muy importante ofrecer una gran variedad de productos e introducir otros

nuevos muy rápidamente, ya que estos sectores industriales operan en mercados altamente competitivos.

En los reactores discontinuos, todos los reactivos son cargados inicialmente en el reactor y la reacción continúa entonces hasta completarse. Se caracterizan por trabajar en condiciones no estacionarias; es decir, que durante la operación la composición y la generación de calor cambian.

Elección del reactor

La elección del tipo de reactor debe de hacerse con el objetivo de evitar reacciones peligrosas no deseadas, maximizando la selectividad (rendimiento) del producto deseado y alcanzando una velocidad de producción elevada. En general, para producciones pequeñas, lo más adecuado es utilizar un reactor discontinuo, como es el caso.

4.6. ALTERNATIVA SELECCIONADA

Una vez expuestas todas las posibles alternativas, dependiendo de factores tan importantes, como la materia prima de partida, el tipo de producto a obtener, la elección del modo de operación o de las operaciones físicas intermedias de purificación, se ha considerado que la alternativa más apropiada es:

Como materias primas de partida:

➤ Aceites vegetales usados: se ha seleccionado esta alternativa porque suponen un foco importante de contaminación para las aguas urbanas y por tanto conllevan a un problema ambiental. Además estos aceites se recogen en cantidades suficientes para la producción, sin necesidad de tener que hacer plantaciones específicas de oliva y/o girasol para obtener el aceite. En los últimos años en España se está promoviendo el procedimiento para la recolección de estos AVUs y su legislación, garantizándose de esta manera la fuente de materia prima necesaria a costos relativamente bajos con respecto al aceite no usado. El precio medio del aceite de oliva de todos los tipos posibles (virgen, virgen extra, lampante y de calidad inferior) es de 2.399 €/Tm, frente a los 400-750 €/Tm de los AVUs .

- Hidróxido de potasio: ya que vamos a producir un jabón líquido que es más fácil de vender y es más higiénico a la hora de manipularlo.
- Agua desionizada: para evitar que los iones disueltos en el agua produzcan reacciones secundarias no deseadas en contacto con el jabón y el KOH y KCl.
- Aditivos: la sal seleccionada para precipitar los coágulos del jabón es el KCl, ya que hemos seleccionado como catalizador básico el hidróxido de potasio. En cuanto a los aromas y pigmentos serán de origen vegetal y naturales.

Como tipo de producto a obtener:

- Jabón líquido potásico: los mejores jabones son aquellos en los que la parte hidrocarbonada está saturada y posee una longitud de ocho, diez, doce o más átomos de carbono. Los jabones potásicos son blandos, producen una espuma mejor y se suelen emplear en cremas de afeitado y jabones líquidos. Son solubles en agua y junto con los jabones sódicos son los que más se emplean para uso doméstico y comercial.

Como tratamiento de los AVUs:

- *Desbaste, sedimentación y centrifugación*

Como proceso de obtención del jabón

- *Proceso en caliente discontinuo o por lotes*

Como modo de operación de la planta

La instalación de pretratamiento de AVUs y posterior fabricación de jabón que se proyecta operará en discontinuo o por lotes por las siguientes razones:

- La escala de producción es reducida
- Versatilidad y facilidad en el control del proceso
- Reducción de las averías
- Aislamiento de los equipos en caso de problemas
- Mayor garantía de calidad del producto final.

Por estos motivos, entre otros, dicha planta de proceso opera en discontinuo y pueden distinguirse claramente tres etapas diferenciadas:

1. Purificación o tratamiento de los AVUs: limpieza y acondicionamiento de los aceites para su posterior conversión en jabón.
2. Saponificación: reacción de los aceites con la disolución alcalina para obtener el jabón base.
3. Terminación y acondicionamiento del jabón: en ella se añaden los ingredientes que le darán al jabón sus características finales. Embotellado, taponado, etiquetado, empaquetado y distribución.

Otras referencias en el texto:

- [4] Alberto Delgado Pérez, "El aceite de oliva: su obtención y propiedades".
- [5] <http://stanpa.com/>
- [6] Kline & Company Inc., JCIA, JSDA
- [7] <http://es.nielsen.com/site/index.shtml>
- [8] <http://www.ine.es/>
- [9] <http://www.eleconomista.es/>
- [10] <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>
- [11] <http://www.internationaloliveoil.org/>
- [12] <http://aplicaciones.magrama.es/>
- [13] <http://www.anierac.org/>
- [14] <http://eko3r.com/>
- [15] http://www.internationaloliveoil.org/?lang=es_ES
- [16] <http://aplicaciones.magrama.es/pwAgenciaAOO>
- [17] <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>
- [18] <http://www.fda.gov/>
- [19] <http://www.ewq.org/>
- [20] Ricardo Ferrer. "Manual moderno para la fabricación de jabones".
- [25] Ministerio de Industria, Energía y Turismo
- [27] Empresa Albabio, <http://www.biodieselspain.com/>

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. AGENTES	72
1.1. PROMOTOR.....	72
1.2. PROYECTISTA.....	72
2. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	72
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	75
3.1. PRODUCTO A COMERCIALIZAR	75
3.1.1. Diagrama de bloques y de flujo del proceso	76
3.2. PROCESO DE PRETRATAMIENTO DE LOS AVUs.....	79
3.2.1. Recepción, pesado y toma de muestra	79
3.2.2. Control de calidad de los AVUs	79
3.2.3. Almacenamiento de los AVUs. Desbaste y filtración	80
3.2.4. Sedimentación o decantación de los AVUs	81
3.2.5. Calentamiento durante la sedimentación.....	83
3.2.6. Centrifugación	84
3.3. ETAPA DE FABRICACIÓN DE JABÓN. REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN	86
3.3.1. Reactor de saponificación.....	86
3.3.2. Mezclador de disolución de KOH.....	88
3.3.3. Unidad de ósmosis inversa	89
3.3.4. Calentamiento de la mezcla de reacción	90
3.3.5. Control de calidad del jabón obtenido.....	90
3.3.6. Tanque de almacenamiento de producto y subproducto.....	90
3.4. ETAPA DE TERMINACIÓN Y ACONDICIONADO	91
3.4.1. Mezclador auxiliar	91
3.4.2. Control de calidad jabón líquido obtenido	92

3.4.3.	Tanque de almacenamiento de jabón líquido	92
3.4.4.	Envasadora, etiquetadora y taponadora	92
3.4.5.	Servicios generales	95
4.	CONDUCCIONES: TUBERÍAS, ACCESORIOS Y BOMBAS	96
5.	INSTRUMENTACION Y CONTROL	98
6.	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA INSTALACIÓN	99
7.	PLAN DE PRODUCCIÓN. PLANIFICACIÓN	100
7.1.	MANO DE OBRA	103
8.	LIMPIEZA DE INSTALACIONES.....	104
9.	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	105
9.1.	ÍNDICES DE VALORACIÓN DE RENTABILIDAD.....	105

1. AGENTES

1.1. PROMOTOR

- Nombre y Apellidos: Carmen Guerrero González
- DNI: 75715660-M
- Domicilio: Calle Rafael Alberti 21 4ª
- Término Municipal: Almería
- Provincia: Almería
- Código postal: 04004

1.2. PROYECTISTA

- Nombre y Apellidos: Carmen Guerrero González
- DNI: 75715660-M
- Domicilio: Calle Rafael Alberti 21 4ª
- Término Municipal: Almería
- Provincia: Almería
- Código postal: 04004

2. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La planta de proceso de fabricación de jabón estará situada en el término municipal de Antas, a unos 90 km de la capital, en el sector SR-4 del polígono industrial “El Real” (consultar el Anejo 1. “Ubicación”).

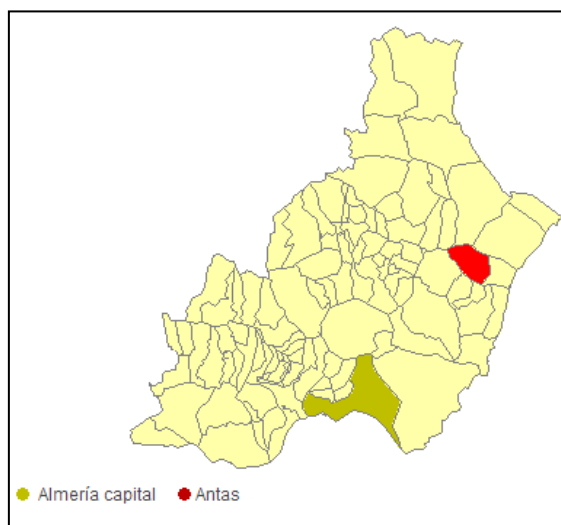


Figura MD.1: Situación del municipio de Antas en la provincia de Almería [1].

[1] Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA):
<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>

La parcela de terreno seleccionada para construir la instalación es la número 10, la cual se describe a continuación. En el caso hipotético de que en un futuro se quisiera ampliar la fábrica debido a un aumento de la producción por el incremento de la demanda del producto, o por incluir una nueva línea de negocio, se podría ampliara la instalación construyendo en alguna de las parcelas contiguas, ya que en la actualidad están sin edificar.



Figura MD.2: Situación del Polígono Industrial "El Real" en Antas [2].



Figura MD.3: Plano del Polígono Industrial "El Real" [3].

[2] Google Earth: <http://www.google.es/earth/>

[3] Área de Urbanismo del Ayuntamiento de Antas: <http://www.antas.es/>



Figura MD.4: Parcela de terreno seleccionada para la construcción de la instalación [2].

La superficie seleccionada para la instalación objeto de este proyecto tiene las siguientes características [4]:

Referencia catastral: 7650810WG9275S0001GQ

Datos de la finca:

- *Localización: Calle Lugarico Viejo (R) Suelo, Polígono Industrial “El Real”, 04628 Antas (Almería)*
- *Clase: urbano*
- *Tipo de finca/uso: suelo sin edificar*
- *Superficie construida: 0 m²*
- *Superficie suelo: 2.320 m²*

La planta de proceso contará con 2.093 m² de superficie edificada.

Se ha elegido esta localización por las características climatológicas y del terreno (consultar anejo 1 “Ubicación”). También se ha seleccionado esta ubicación por la cercanía con varias empresas que son gestores autorizados de AVUs. Enumeramos algunas de las empresas a continuación: “Trisur”, “Indalrecave”, “Bio Aceites”, “Biocarburos Almanzora”, “Reciclados La Estrella”, etc.

Muchas de ellas están situadas cerca de la instalación objeto del presente estudio, y se encargan de la recogida y gestión de aceites usados en los municipios de esta zona de Almería y de parte de Murcia.

[2] Google Earth: <http://www.google.es/earth/>

[4] Oficina Virtual del Catastro: <http://www.sedecatastro.gob.es/>

Otras empresas que generan aceites en gran medida son las fábricas productoras de chips de patatas fritas o frutos secos. Cerca de la localización de la planta se encuentran empresas como “Snacks Pasy” sita en Huércal Overa, a unos 19 km de la ubicación seleccionada, y “La Velezana” en Vélez Rubio, a unos 70 km de la misma. Ambas pueden abastecernos también con los aceites de frituras que desechan en su proceso. Entre otros, estos serán nuestros proveedores, lo que supondrá un ahorro en los gastos de transporte.

Por otra parte, recepcionaremos camiones cisterna cargados de aceite usado, procedentes de empresas externas a la provincia, completando así nuestra lista de proveedores de materias prima en cuanto a aceites vegetales.

Para resumir, se ha elegido esta ubicación debido a:

- la cercanía con empresas gestoras de AVUs
- las buenas comunicaciones con el resto de Andalucía
- las buenas instalaciones y mantenimiento del polígono
- un precio asequible del terreno
- las buenas condiciones ambientales.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

La planta de producción de jabón líquido trabajará a dos turnos, de 8 horas cada uno, durante 5 días a la semana, de lunes a viernes. Los turnos se distribuirán en turno de mañana, de 6:00 a.m. a 14:00 p.m., y turno de tarde, de 14:00 p.m. a 22:00 p.m. En caso de que se tuviera un aumento en la demanda de producto, se podría ampliar la producción a uno o dos turnos los sábados, e incluso implantar un turno adicional, de noche, de 22:00 p.m. a 6:00 a.m., incluyendo el plus de nocturnidad.

De esas 16 horas diarias de trabajo, gran parte se destinarán a sedimentar los aceites, y el resto de tiempo será el invertido en la centrifugación, saponificación, mezclado de aditivos, envasado y almacenado, además de la preparación y limpieza de las instalaciones para el próximo día de producción.

3.1. PRODUCTO A COMERCIALIZAR

El producto a elaborar en la planta de proceso de la presente memoria es un jabón líquido con las siguientes características:

Jabón	30 – 40 %
Agua	50 – 70 %
Glicerina	3,5 – 6,0 %
Aromas	0,5 – 2,5 %
Sal	0,8 – 1,2 %
Colorante	0,01 – 0,2 %

Tabla MD.1: Composición media del jabón líquido a comercializar.

3.1.1. Diagrama de bloques y de flujo del proceso

A continuación, en el esquema de la figura MD.4, se representan todas las etapas del proceso de fabricación del jabón que se llevará a cabo en la planta de proceso. Básicamente la instalación puede dividirse en 3 secciones o áreas diferenciadas, que a su vez se subdividen en varias etapas que se describen a continuación:

- **Área I:** se incluyen las operaciones físicas dedicadas al tratamiento previo del aceite usado procedente de particulares y del sector HORECA, de acuerdo con la normativa vigente a nivel europeo, nacional y autonómico. Se obtiene un aceite purificado listo para usarse en la siguiente etapa.
- **Área II:** se lleva a cabo el proceso de elaboración del jabón. Se produce la reacción de saponificación (ver anejo 3. “Cinética de la reacción de química”) entre los aceites purificados que provienen del área I y la disolución alcalina de potasa (KOH). Incluye también la adición de la sal al jabón obtenido, además de aromas, pigmentos y más agua para obtener el producto final, el jabón líquido.
- **Área III:** incluye las operaciones de enfriado del jabón líquido, envasado, etiquetado y taponado, empaquetado y almacenado para su distribución.

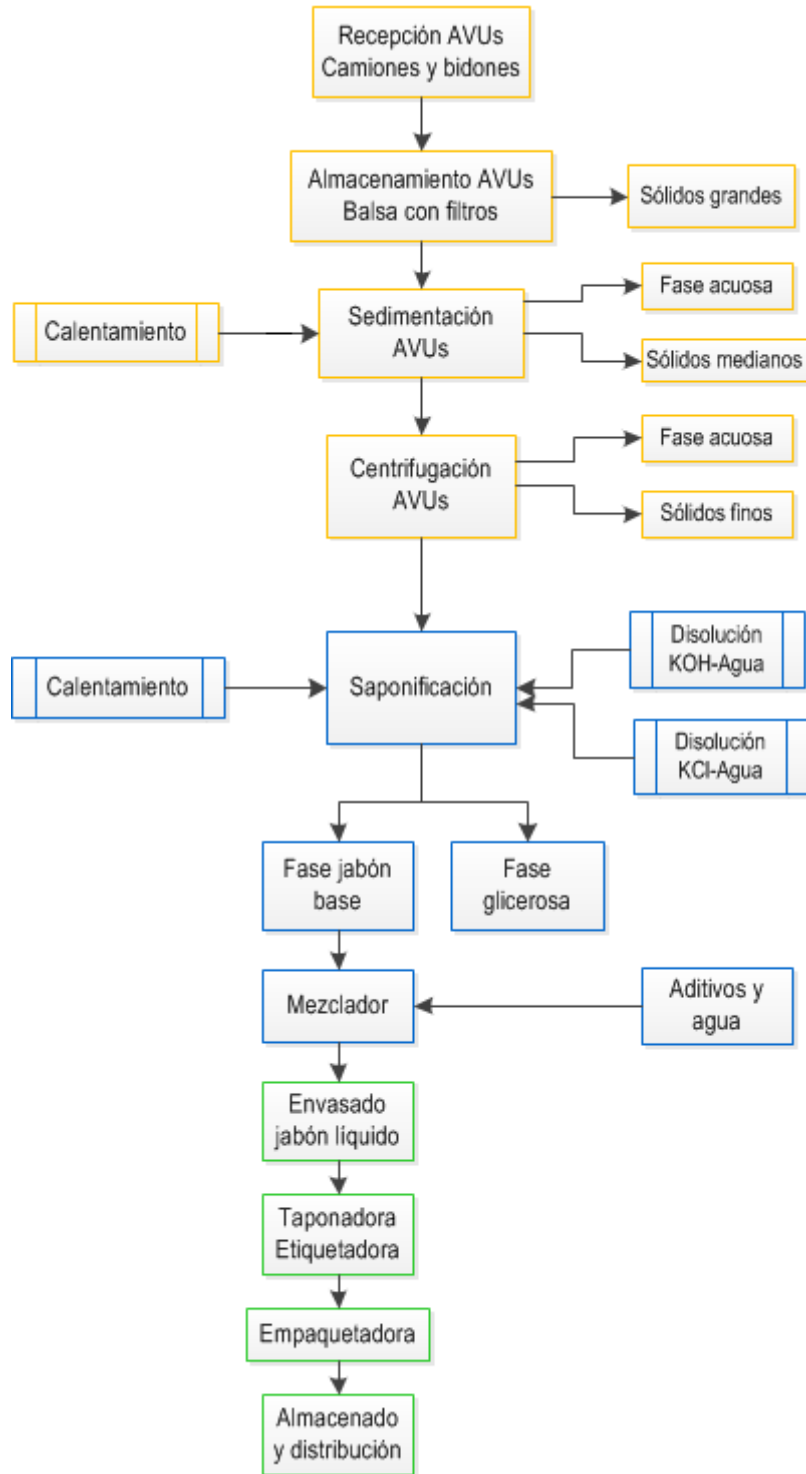
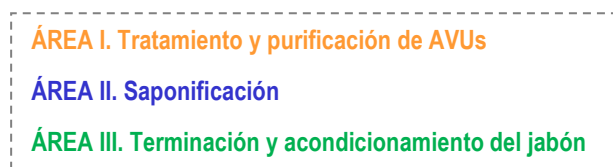


Figura MD.4: Etapas del proceso. Diagrama de bloques.



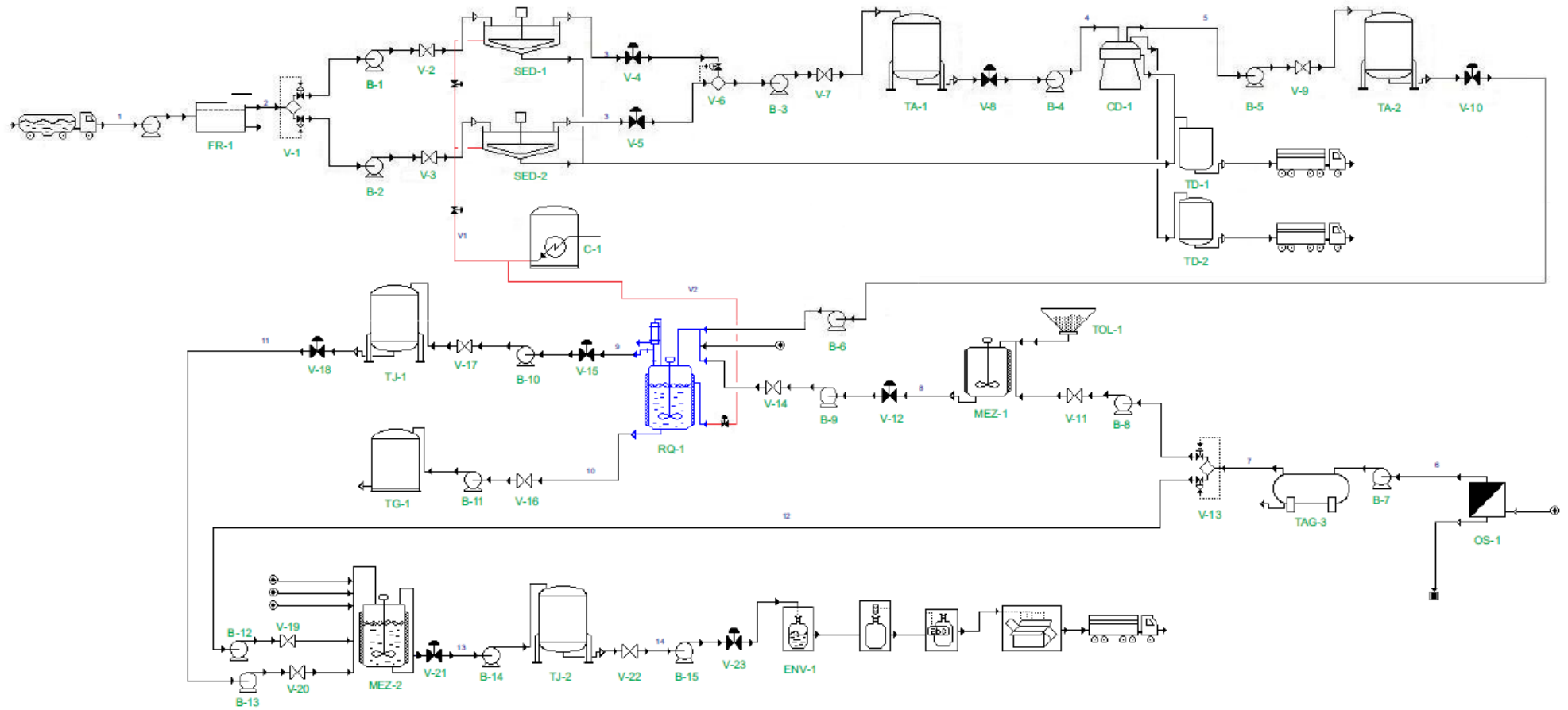


Figura MD.5: Diagrama de flujo del proceso.

3.2. PROCESO DE PRETRATAMIENTO DE LOS AVUs

El principal objetivo de esta etapa es conseguir una limpieza correcta a los aceites que se reciben, eliminando el exceso de humedad, que podría deteriorarlos, y aquellos restos orgánicos de frituras, sólidos de varios tamaños, que podrían alterar e inutilizarlos para su posterior transformación en el jabón.

3.2.1. Recepción, pesado y toma de muestra

Los AVUs llegan a la planta de tratamiento en varios formatos:

- en bidones de 25 o 50 L, y/o en contenedores de 1000 L, transportados en furgones o camiones adaptados, para evitar posibles derrames.
- en camiones cisterna de mayor capacidad (15-30 Tm).

Los AVUs llegan a la planta cada dos días en camiones cisterna de capacidad media de 15 a 20 m³, y cada 5 días en furgones llenos de bidones (figura 6).



Figura MD.6: Formatos de recepción de AVUs.

La cantidad de AVUs recibidos se registra en el sistema de pesado de la entrada para después compararla con la cantidad que se había solicitado. Para ello, la planta cuenta con un departamento de recepción, provisto de una báscula puente electrónica sobresuelo de 8x3 m, situada en el exterior de la instalación (ver anejo 7. “Distribución en planta”), con una capacidad máxima de 30.000 Kg y con 4 células de carga.

3.2.2. Control de calidad de los AVUs

Una vez que ha llegado la materia prima y antes de bombearla a la balsa filtro, hay que realizarle un control de calidad en el laboratorio para poder dar el visto bueno o no a los aceites. Para ello se realizan las siguientes pruebas en el Laboratorio de Control de Calidad de la planta:

- **Análisis sensorial:** olor, color y apariencia.
- **Análisis físicos:** densidad, viscosidad, índice de refracción, punto de fusión.
- **Análisis químicos:** índices de acidez, de saponificación, de éster, de yodo, de peróxidos y de materia insaponificable (descritos en el documento anterior, “Memoria justificativa”).

3.2.3. Almacenamiento de los AVUs. Desbaste y filtración

En primer lugar el aceite procedente de los camiones cisterna y de los bidones, previamente se analiza en el laboratorio, para poder ser descargado al depósito tipo balsa de recepción de unos 24 m³ de capacidad, donde será filtrado, tal y como se describe en el punto 2.3 del anejo 3 “Diseño de equipos”.

Se lleva a cabo la operación de desbaste, gracias a las rejas formadas por unas barras inclinadas, situadas en el tanque balsa rectangular, que operan a modo de filtro. Su misión es retener y separar los sólidos más voluminosos contenidos en el aceite, a fin de evitar las obstrucciones en los equipos mecánicos siguientes de la planta de proceso y facilitar la eficacia de los tratamientos posteriores. Estos sólidos mayores que puedan acompañar al aceite quedarán retenidos en la zona baja de la reja, debido a la inclinación de la misma (figura MD.7).



Figura MD.7: Funcionamiento general de los filtros para el desbaste.

De acuerdo con el fluido que llega y el contenido de materiales gruesos que se quieran retener fuera de las instalaciones, las rejas pueden ser de limpieza manual o automática. En este caso, como el proceso de descarga es discontinuo, se opta por la limpieza manual de la reja diariamente, una vez que ha pasado el tiempo necesario para retener los sólidos.

La operación de desbaste puede ser más o menos eficaz, dependiendo de la separación que exista entre los barrotes del filtro tipo reja:

- Fino: separación de barrotos de 3 a 10 mm
- Medio: de 10 a 25 mm
- Grueso: de 50 a 100 mm

Se llevará a cabo un desbaste con separación de barrotos de 10 mm.

Las dimensiones del tanque tipo balsa y de los filtros son las siguientes:

Descripción. Tanque rectangular tipo balsa, abierto, de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Rejas de polipropileno	
Capacidad (m³)	24 m ³
Dimensiones (m)	3,5 m x 3,5 m x 2 m
Espesor (mm)	0,71 (estándar)
Número de rejas por filtro	2
Luz de malla de las rejas (cm)	3 cm (superior) y 0,1 cm (inferior)
Número de filtros	5
Dimensión de los filtros (m)	3,5 m x 2 m
Número de rejas totales	10
Ángulo fondo tanque y filtro	30-45°

Tabla MD.2: Características del equipo de desbaste de AVUs.

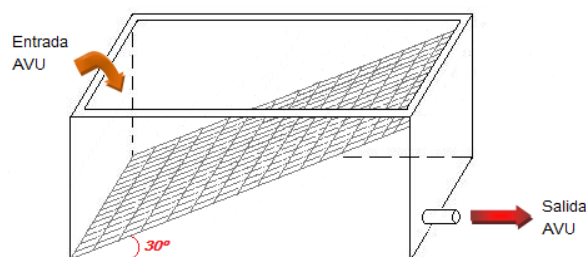


Figura MD.8: Aspecto aproximado del tanque balsa de 3,5 x 3,5 x 2 m.

3.2.4. Sedimentación o decantación de los AVUs

El paso siguiente en la purificación de los aceites, es bombearlos a los tanques de sedimentación para separar los sólidos medianos y el agua que pudieran contener, ya que si transcurre el tiempo necesario se forman dos fases diferenciadas que se pueden separar. Además, se aplica un calentamiento adicional para el objetivo.

La sedimentación permite la separación de un sólido presente en un fluido o de dos fluidos inmiscibles por acción de la fuerza de la gravedad. La velocidad de sedimentación depende del tamaño de las partículas sólidas o las gotas del fluido, de

la diferencia de densidad entre los elementos de la mezcla y la viscosidad del fluido. La separación sólo tendrá lugar si las distintas fases difieren en cuanto a densidad.

En el caso que se está estudiando, existen 3 componentes y 2 fases, la fase oleosa (arriba) y la acuosa (abajo), y los sólidos contenidos en ambas. El agua al ser más densa que el aceite, queda en la parte inferior del tanque, y los sólidos más pesados bajan al fondo, aunque los más finos aún pueden quedar suspendidos en la fase aceite. Por ello junto con la sedimentación aplicaremos un calentamiento adicional, para eliminar la mayor parte del agua y las partículas más difíciles de eliminar. Este calentamiento también es necesario para eliminar olores y clarificar un poco el color de la mezcla.

El resultado de la sedimentación de una suspensión de partículas, es un fluido clarificado (aceite) y una suspensión más concentrada (partículas sólidas y agua).

Para este objetivo, el equipo más usado son unos simples tanques de sedimentación cuyas dimensiones han de ser adecuadas para permitir la separación entre las dos fases. Es necesario controlar el flujo, que no ha de perturbar la sedimentación de la fase más densa.

Esta sección de la planta estará provista de 2 tanques de sedimentación de volumen 26 m³, donde se almacenará el aceite que proviene de la etapa anterior de desbaste y así poder separar los sólidos de tamaño intermedio y una parte del agua presente en el mismo. Esta operación se lleva a cabo en caliente mediante un sistema de serpentines que conducen vapor procedente de la caldera de la planta.

El aceite recepcionado entra a los sedimentadores con un 1% de sólidos, un 7% de agua y un 0,5% de ceras. La carga máxima de aceite será de 20.000 kg, facilitado en cada camión cisterna que llega. Estos 20.000 kg de aceite servirán para 4 días, es decir 5.000 kg/día, divididos en 2 lotes de 2.500 kg de aceite/lote.

Las dimensiones y características de estos tanques de sedimentación son:

Descripción. Sedimentadores cilíndricos, verticales, abiertos, con fondo cónico para purgas, soportados por perfiles IPN, y con serpentín de espiral doble (2 unidades)	
Capacidad (m³)	25,77
Diámetro interior (m)	4,62
Altura (m)	1,88
Espesor carcasa (mm)	11,7
Espesor fondo cónico (mm)	71,3
Capacidad reciente sólidos (m³)	1,58
Material	SA-285-Grado C

Tabla MD.3: Características de los tanques de sedimentación.



Figura MD.9: Aspecto aproximado del tanque de sedimentación de AVU.

Una vez que se ha aplicado la sedimentación al AVU, éste se bombea a un tanque intermedio de almacenamiento para posteriormente realizarle la centrifugación por lotes. Las características del tanque son las que sigue:

Descripción. Tanque cilíndrico, vertical, cerrado, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, con patas y anclado al suelo (ver anejo 4 "Diseño de equipos")	
Diámetro interior (m)	2,49
Altura (m)	4,57
Capacidad total (m³)	24,35
Relación de esbeltez (H/D)	1,83
Espesor carcasa (mm)	6,98
Espesor fondos (mm)	6,97
Material	SA-285-Grado C

Tabla MD.4: Características de los tanques de sedimentación.

3.2.5. Calentamiento durante la sedimentación

Se requiere alcanzar una determinada temperatura para que el proceso de sedimentación se vea favorecido. Se deben calentar los aceites a unos 45-50 °C para mejorar la separación entre sólidos, agua y aceite. Para alcanzar dicha temperatura se emplea vapor de calefacción procedente de una caldera situada en la instalación. El vapor saturado circulará a través de un serpentín instalado en la parte lateral de dichos tanques.



Figura MD.10: Caldera típica de gasóleo.

Para la producción de vapor se instalará una caldera pirotubular de tipo horizontal, de dos pasos de humo y de hogar totalmente refrigerado por agua. Presenta un acabado en chapa de acero inoxidable, acorde a unas prestaciones máximas de rendimiento y calidad de vapor. Posee puertas abisagradas que permiten una apertura total del circuito de humos sin desmontar el quemador, y atornilladas en el fondo trasero. Está calorifugada con fibra cerámica de alto poder ignífugo y mínimo peso. La salida de humos es vertical. Su rendimiento mínimo es del 90%, con bajas emisiones de NOx.

Las características técnicas más destacadas de la caldera seleccionada son:

Descripción. Caldera marca Servitec, modelo NGC 500	
Potencia térmica útil (kW)	350 kW (300.000 kcal/h)
Producción de vapor (kg/h)	500
Consumo de gasóleo medio (L/h)	45
Presión máxima de operación (bar)	12
Dimensiones: Ancho (m)	2,3
Largo (m)	1,7
Alto (m)	1,7
Diámetro de la chimenea (m)	2,5
Peso (kg)	2.300
Combustible	Cualquier combustible del mercado, líquido o gaseoso (gasoil, gas natural, etc.)

Tabla MD.5: Características de la caldera.

3.2.6. Centrifugación

Al igual que la sedimentación, la centrifugación es una operación mecánica que permite separar dos fases, bien sean un sólido de un líquido, dos líquidos inmiscibles, o el caso particular de 3 fases (2 líquidos inmiscibles y partículas sólidas). En este caso la separación se lleva a cabo por la acción de una fuerza centrífuga que se genera durante la rotación de la mezcla. En la práctica, comparando la fuerza centrífuga con la fuerza de la gravedad, esta última resulta inapreciable ya que los efectos de la primera son muy grandes.

La intensidad de la fuerza centrífuga generada depende del radio del recipiente donde se introduzca la mezcla, de la velocidad de rotación y de la masa de las partículas a separar. La velocidad de separación dependerá de la velocidad de rotación y de las mismas variables indicadas en la sedimentación.

Es posible llevar a cabo la separación de dos líquidos inmiscibles y la clarificación de la mezcla en el mismo equipo. De hecho esta operación es la que se llevará a cabo en la centrífuga, ya que queremos separar las partículas finas por un lado y la humedad restante por otro, para así tener un aceite purificado apto para la siguiente etapa que será la de reacción.

Una vez que se ha sedimentado se bombea el AVU a un tanque de almacenamiento cerrado, para su posterior centrifugación en pequeños lotes. Se pretende reducir el contenido en agua y sólidos lo máximo posible.

El caudal máximo que permite la centrífuga de discos seleccionada es de 15 m³/h. Cada lote será de unos 2500 kg de AVU limpio, de los cuales obtendremos unos 2478 kg purificados, con un 99% de aceite y tan sólo 1% de agua. Se retienen entre el 70-90% de los sólidos y del agua contenidos en la mezcla de aceite.

Las dimensiones y características del equipo de centrifugación es el siguiente:

Descripción. Centrífuga de discos modelo DA 45-01-026 WestFalia, separa 3 fases, con bomba centrífuga para descarga de la fase líquida, con partes en acero inoxidable, etc.	
Caudal máximo (m³/h)	15
Velocidad máxima (rom)	5.400
Número de discos	9-15
Potencia del motor (kW)	30
Peso aproximado (kg)	1.600
Peso del tambor rotatorio o cesta (kg)	290
Diámetro (mm)	600-800

Tabla MD.6: Características de la centrífuga de discos.

Seguidamente del proceso de centrifugación, el aceite purificado se bombea a un tanque de almacenamiento cerrado a la espera de ser usado en la siguiente etapa que es la de reacción de saponificación.

El tanque de almacenamiento de AVU centrifugado tiene una capacidad de 24 m³ y es de acero al carbono SA-285 Grado C.

Descripción. Tanque cilíndrico, vertical, cerrado, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, con patas y anclado al suelo	
Diámetro interior (m)	2,49
Altura (m)	4,57
Capacidad total (m³)	24,35
Relación de esbeltez (H/D)	1,83
Espesor carcasa (mm)	6,98
Espesor fondos (mm)	6,97
Material	SA-285-Grado C

Tabla MD.7: Características del tanque de almacenamiento de AVU centrifugado.

También se tendrán unos depósitos a modo de contenedores para los sólidos que se separan en las operaciones de desbaste, sedimentación y centrifugación. Habrá tres depósitos, tendrán una capacidad de entre 1 y 2 m³ cada uno y estarán situados al lado de la balsa de desbaste, de los sedimentadores y de la centrífuga de discos. Un vez que se recolecte la cantidad suficiente se envían a tratamiento de residuos sólidos urbanos.

3.3. ETAPA DE FABRICACIÓN DE JABÓN. REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN

3.3.1. Reactor de saponificación

Se trata de un recipiente cilíndrico tipo tanque agitado que opera en modo discontinuo o por lotes. Está provisto de un sistema de agitación de tipo hélice marina y de una camisa que lo recubre para su calentamiento.

Descripción. Reactor tipo tanque agitado cilíndrico, vertical, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, de acero inoxidable AISI 316, soportado por perfiles IPN, con agitador tipo hélice marina de 3 aspas y 4 tabiques deflectores. Provisto también de camisa de calefacción. (ver anejo 4 "Diseño de equipos")	
Diámetro interior (m)	1,79
Altura (m)	2,24
Capacidad total (m³)	5,65
Relación de esbeltez (H/D)	1,25
Espesor carcasa (mm)	3,18
Espesor fondos (mm)	3,18
Material	AISI-316

Tabla MD.8: Características del reactor químico.

3.3.1.1. Mecanismo de reacción

La etapa más importante del proceso es la reacción química en todo proceso. La saponificación de los triglicéridos del aceite se ha descrito en detalle en el anejo 3 de “Cinética de reacción química”.

3.3.1.2. Condiciones óptimas de reacción

La elección de los parámetros óptimos de la reacción de saponificación, se han seleccionado según un estudio incluido en el anejo 3 de “Cinética de reacción química”. Se resumen a continuación:

Parámetro	Aplicación al caso de estudio
Orden de reacción	Cinética de pseudo-primer orden
Tiempo de reacción	3,52 h
Constante cinética aparente, k'	0,0142 min ⁻¹
$[KOH]_0$	3,505
Grado de conversión de saponificación, x_A	0,95
Temperatura óptima	90-10°C
Concentración de álcali en la mezcla	25%
Relación NaOH/aceite (moles)	3:1

Tabla MD.9: Características de la reacción de saponificación.

3.3.1.3. Sistema de agitación

Se ha seleccionado un agitador de tipo hélice marina, agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos poco viscosos. Los parámetros geométricos y el consumo de potencia para el agitador:

Parámetro	Valor
Nº placas deflectoras	4
Nº palas	3
Diámetro agitador, D_a (mm)	360
Ancho de la placas deflectoras, J (mm)	220
Altura del agitador desde el fondo del tanque, E (mm)	600
Ancho del agitador, W (mm)	60
Potencia necesaria de agitación, P_{motor} (kW)	0,17

Tabla MD.10: Características del agitador del reactor.

3.3.1.4. Sistema de calefacción

Pese a que la reacción de saponificación es exotérmica, es necesario aportarle calor adicional para alcanzar la temperatura de operación y asegurar que se complete la reacción para obtener el producto lo más puro posible.

Se ha seleccionado una camisa de calefacción en lugar de un serpentín, como en el caso de los sedimentadores, ya que el área de contacto en el primer caso es mucho mayor y nuestro objetivo es que la mezcla esté lo más homogénea posible.

Las características de este equipo se describen en la tabla

Descripción. Camisa de termostatación, de acero inoxidable AISI-304, recubierta de espuma elastomérica aislante, por la que circula un calor saturado (ver anejo 4 "Diseño de equipos")	
Temperatura del líquido a la entrada, T_{Le} (°C)	35
Temperatura del líquido a la salida, T_{Ls} (°C)	90
Temperatura del vapor a la entrada, T_{Ve} (°C)	142,24
Temperatura del vapor a la salida, T_{Vs} (°C)	137,54
Caudal de vapor a aportar, m_v (kJ/h)	2138
Material	AISI-304

Tabla MD.11: Características de la camisa de calefacción.

3.3.2. Mezclador de disolución de KOH

Para saponificar el aceite se seleccionó un álcali, en el caso particular de este proyecto, y fue el hidróxido potásico (potasa), ya que se quiere obtener un jabón líquido.

La disolución a debe preparar tiene que contener un 25% de KOH, por lo que el 75% restante es agua. Para ello se ha provisto a la planta de un mezclador de acero inoxidable AISI-304, con agitación continua (agitador de turbina) para este propósito.

Descripción. Mezclador tipo tanque agitado cilíndrico, vertical, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, soportado por perfiles IPN, con agitador tipo turbina Rushton de 6 palas y 4 tabiques deflectores.	
Diámetro interior (m)	1,04
Altura (m)	2,70
Capacidad total (m ³)	2,28
Relación de esbeltez (H/D)	2,60
Espesor carcasa (mm)	2,18
Espesor fondos (mm)	2,18
Material	AISI-304

Tabla MD.12: Características del mezclador de disolución KOH.

En este caso, el agitador seleccionado, es de turbina, ya que la mezcla no es tan viscosa como la mezcla reaccionante. El tipo de flujo en este caso es radial, a diferencia del agitador de hélice marina, donde es axial.

Los parámetros geométricos para el agitador de turbina del mezclador:

Parámetro	Valor
Nº placas deflectoras	4
Nº palas	6
Longitud de las aspas del agitador, L (mm)	90
Diámetro agitador, D_a (mm)	350
Ancho de la placas deflectoras, J (mm)	90
Altura del agitador desde el fondo del tanque, E (mm)	350
Ancho del agitador, W (mm)	70
Potencia necesaria de agitación, P_{motor} (kW)	0,05

Tabla MD.13: Características del agitador del mezclador de disolución KOH.

3.3.3. Unidad de ósmosis inversa

Para evitar reacciones secundarias de los iones disueltos en el agua común de suministro urbano y la mezcla del reactor, es necesario purificarla para reducirlos en el mayor número posible. Para ello la planta estará provista de una unidad de ósmosis inversa.



Figura MD.11: Unidad de ósmosis inversa.

El equipo seleccionado del mercado actual, tiene un rango de producción de agua de 50 L/h hasta 200.000 L/h, con una tasa de rechazo de los iones en los filtros, del 99%. Tiene 2 membranas de tamaño unitario de 4"x40".

3.3.4. Calentamiento de la mezcla de reacción

Como se ha comentado antes, hay que calentar la mezcla de reacción para alcanzar la conversión establecida. El equipo de caldera que se usará para ello es el mismo que el descrito en el punto 3.2.5 “Calentamiento durante la sedimentación”.

3.3.5. Control de calidad del jabón obtenido

Una vez obtenido el jabón, producto intermedio del proceso, que proviene de la etapa de reacción, es necesario realizarle una serie de controles a nivel de laboratorio. Las pruebas a realizar son análisis de densidad, viscosidad, pH, microbiología, color, olor, etc.

3.3.6. Tanque de almacenamiento de producto y subproducto

Para almacenar los productos de reacción, es necesario hacerlo en recipientes destinados a ello. Se tienen 2 tanques de almacenamiento, uno para el jabón y otro para la glicerina, ambos a la salida del reactor, los cuales se describen a continuación:

Descripción. Tanque cilíndrico, vertical, cerrado, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, con patas y anclado al suelo	
Diámetro interior (m)	1,25
Altura (m)	3,25
Capacidad total (m³)	3,99
Relación de esbeltez (H/D)	2,27
Espesor carcasa (mm)	4,17
Espesor fondos (mm)	4,17
Material	AISI-304

Tabla MD.14: Características del tanque de jabón.

Descripción. Tanque cilíndrico, vertical, cerrado, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, con patas y anclado al suelo	
Diámetro interior (m)	1,10
Altura (m)	2,63
Capacidad total (m³)	2,49
Relación de esbeltez (H/D)	2,40
Espesor carcasa (mm)	3,85
Espesor fondos (mm)	3,84
Material	AISI-304

Tabla MD.15: Características del tanque de glicerina.

3.4. ETAPA DE TERMINACIÓN Y ACONDICIONADO

3.4.1. Mezclador auxiliar

En la última etapa del proceso, el de terminación del jabón, es necesario mezclar en un recipiente aparte el jabón obtenido de la reacción con más agua, para formar el jabón líquido, y además agregar los aromas y colorantes necesarios para darle el aspecto deseado al producto final y que sea atractivo para el consumidor.

En esta fase no es necesario calentar pero sí una agitación continua para mezclar bien todos los componentes.

Descripción. Mezclador tipo tanque agitado cilíndrico, vertical, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, soportado por perfiles IPN, con agitador tipo turbina Rushton de 6 palas y 4 tabiques deflectores.	
Diámetro interior (m)	1,68
Altura (m)	2,80
Capacidad total (m³)	7,44
Relación de esbeltez (H/D)	1,67
Espesor carcasa (mm)	5,09
Espesor fondos (mm)	5,08
Material	AISI-304

Tabla MD.16: Características del mezclador auxiliar.

En este caso, como las características fluido-dinámicas de la mezcla jabonosa son similares a las del producto de reacción, el agitador seleccionado también es de tipo hélice, como el del reactor químico, aunque aquí la mezcla está muy diluida y la viscosidad es muy cercana a la del agua.

Los parámetros geométricos del agitador de hélice del mezclador auxiliar, son:

Parámetro	Valor
Nº placas deflectoras	4
Nº aspas	3
Diámetro agitador, D_a (mm)	340
Ancho de la placas deflectoras, J (mm)	210
Altura del agitador desde el fondo del tanque, E (mm)	560
Ancho del agitador, W (mm)	60
Potencia necesaria de agitación, P_{motor} (kW)	0,017

Tabla MD.17: Características del agitador del mezclador de disolución KOH.

3.4.2. Control de calidad jabón líquido obtenido

Una vez más, se necesita conocer y controlar varios parámetros físicos, químicos, y sensoriales del producto terminado, o sea el jabón líquido. Para obtener una mayor trazabilidad del proceso industrial, se ha controlado la materia prima desde su entrada a la planta como aceite (AVU), hasta su conversión en el producto final, jabón líquido.

Los controles que se realizan a nivel de laboratorio, son análisis de densidad, viscosidad, pH, microbiología, color, olor, etc.

3.4.3. Tanque de almacenamiento de jabón líquido

Para almacenar el producto final del proceso, se ha seleccionado un tanque cuyas características se describen a continuación:

Descripción. Tanque cilíndrico, vertical, cerrado, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, con patas y anclado al suelo	
Diámetro interior (m)	1,49
Altura (m)	3,97
Capacidad total (m³)	7,84
Relación de esbeltez (H/D)	2,66
Espesor carcasa (mm)	4,69
Espesor fondos (mm)	4,69
Material	AISI-304

Tabla MD.18: Características del tanque de jabón líquido.

3.4.4. Envasadora, etiquetadora y taponadora

Para el envasado del jabón líquido hemos elegido una máquina automática de llenado para mayor facilidad y automatización del proceso. Se instalan en línea la envasadora dosificadora, la etiquetadora, taponadora y para finalizar, los operarios rellenan cajas de cartón y preparan los palés que luego pasarán al almacén de producto terminado, listos para ser expedidos.

La envasadora seleccionada es una dosificadora automática con las siguientes características:

Descripción. Envasadora, dosificadora automática, marca Leal Process, modelo B-310, serie Star., con dos velocidades de dosificación	
Rango de dosificación	50 cl – 5 L
Viscosidades permitidas	De hasta de 15.000 cP
Velocidad de dosificación aprox.	2000 L/h
Material	AISI-304
Volumen a envasar (L/lote)	6.315 (en 2 lotes)
Tiempo estimado de envasado (h)	1,58 h/lote
Capacidad de los botes (mL)	500

Tabla MD.19: Características de la envasadora.

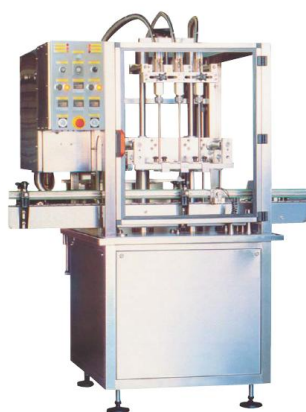


Figura MD.12: Envasadora automática B-310, serie Star.

Una vez que se han llenado los botes de 500 mL de jabón, pasan a la taponadora:

Descripción. Taponadora automática, marca Leal Process, modelo 4/12 RP, con opción de tapador de rosca o a presión.	
Formatos posibles	250 cl – 10 L
Viscosidades permitidas	De hasta de 15.000 cP
Velocidad de dosificación aprox.	2000 L/h
Material	AISI-304
Volumen a envasar (L/lote)	6.315 (en 2 lotes)
Tiempo estimado de envasado (h)	1,58 h/lote
Capacidad de los botes (mL)	500

Tabla MD.20: Características de la taponadora.



Figura MD.13: Taponadora automática 4/12 PR.

Luego los botes llenos de jabón y cerrados con los tapones, pasan a la etiquetadora:

Descripción. Etiquetadora automática, marca Chabot Delrieu Associes, modelo Ninon 1500 M&B, con opción aplicar 1 ó 2 etiquetas adhesivas en envases cilíndricos, provisto de transportador.	
Transportador	motorizado
Altura de etiqueta (mm)	De 8 a 300
Producción (productos/h)	1500
Temperatura ideal funcionamiento (°C)	10-30
Cadencia (botes/h)	Hasta 1500
Peso aproximado (kg)	250
Potencia consumida (kW)	2

Tabla MD.21: Características de la etiquetadora.



Figura MD.14: Etiquetadora automática Ninon.

3.4.5. Servicios generales

Suministro de agua del proceso

La instalación cuenta con abastecimiento de agua que toma de la red que se abastecerá de la calle, de igual modo que las demás instalaciones del polígono industrial donde está situada la planta. El agua se almacena en un tanque de 18 m³ una vez que se ha aplicado tratamiento para quitarle las sales en la unidad de ósmosis inversa.

Servicio eléctrico

El suministro eléctrico a la planta de fabricación de jabón se llevará a cabo en baja tensión a través de un transformador de 500 kW situado en las instalaciones anejas a la planta en el polígono industrial "El Real" en Antas.

Por otra parte habrá un grupo electrógeno enclavado en el sistema para que, en caso de falta de energía eléctrica, permita el funcionamiento de los equipos críticos de la instalación, como son el reactor o la atmósfera inerte.

Otros servicios

Aire comprimido → el suministro de aire comprimido a 10 bares es necesario para el accionamiento de equipos y válvulas de control en las distintas áreas de la planta. Será suministrado mediante instalación de aire comprimido abastecida por un compresor, con un caudal de 140 m³/hora.

Nitrógeno → todo el sistema se encuentra inertizado con nitrógeno de pureza 99,5% y a 5 bares, para prevenir la entrada de oxígeno al sistema y la posible formación de mezclas de gases explosivos.

Red contra incendios

Siguiendo las directrices establecidas en el *Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales* aprobado por el Real Decreto 2267/2004, del 3 de diciembre (BOE nº 303 de 17 de diciembre), se dotará a la instalación objeto de este proyecto de los equipos necesarios para que las protejan del eventual riesgo de un incendio.

4. CONDUCCIONES: TUBERÍAS, ACCESORIOS Y BOMBAS

En el presente proyecto se va a realizar el diseño de la instalación de tuberías, bombas y accesorios (válvulas, codos, bridas, etc.), necesarios para la impulsión de líquidos de un punto a otro.

El diseño de las tuberías consiste en la selección del material de construcción, el cálculo del diámetro y el espesor de las mismas, así como la caída de presión que va a experimentar el fluido al ser impulsado de un punto a otro.

La adecuada elección del tipo de tuberías a utilizar depende de los factores:

- Esfuerzo a las temperaturas de trabajo.
- Tiempo de vida útil.
- Periodos de mantenimiento.
- Facilidad de instalación y reparación.
- Adecuada resistencia a la corrosión y erosión.
- Coste de los equipos.

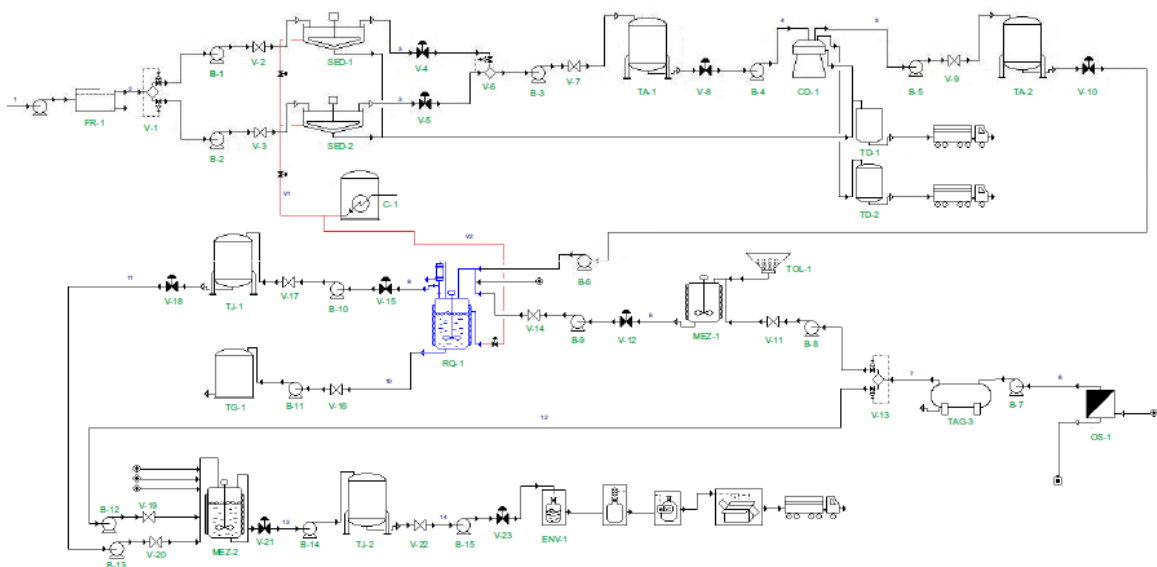


Figura MD.15: Diagrama de tuberías y accesorios de la planta.

TUBERÍA	LÍNEA	TIPO Fluido	MATERIAL	DN (in)	D _{int} (m)	V _{real} (m/s)	L _{total} (m)	Re	ε/D	f _D	h _f (m)
1	de la balsa-filtro a los tanques sedimentadores	Aceite sucio	Acero al carbono SA-53 grado B	2 ^{1/2}	0,069	1,60	47,34	2234,68	6,64E-04	0,048	4,29
2	de los tanques sedimentadores al tanque de AVU _{sedimentado}	Aceite semi-sucio	Acero al carbono SA-53 grado B	2 ^{1/2}	0,069	1,52	41,59	2174,17	6,64E-04	0,048	3,47
3	del tanque de AVU _{sedimentado} a la centrífuga	Aceite semi-sucio	Acero al carbono SA-53 grado B	3/4	0,023	1,80	6,34	1096,75	1,96E-03	0,058	2,60
4	de la centrífuga al tanque de AVU _{centrifugado}	Aceite limpio	Acero al carbono SA-53 grado B	3/4	0,023	1,79	7,34	1081,02	1,96E-03	0,059	3,02
5	del tanque de AVU _{centrifugado} al reactor	Aceite limpio	Acero inoxidable SS-304	3/4	0,023	1,64	10,04	994,54	1,96E-03	0,064	3,80
6	de la unidad de ósmosis al tanque de agua	Agua	Acero al carbono SA-53 grado B	2	0,057	1,63	18,55	93035,53	8,01E-04	0,022	0,96
7	del tanque de agua al mezclador de disolución KOH	Agua	Acero inoxidable SS-304	1/2	0,018	1,55	16,48	27911,39	2,53E-03	0,029	3,29
8	del mezclador de disolución de KOH al reactor	Disolución de potasa (25%)	Acero inoxidable SS-304	1/2	0,018	1,64	6,80	4687,05	2,53E-03	0,041	2,10
9	del reactor al tanque de jabón	Fase jabón	Acero inoxidable SS-304	1	0,030	1,31	7,01	438,55	1,52E-03	0,146	2,98
10	del reactor al tanque de fase glicerina	Fase glicerina	Acero inoxidable SS-304	1/2	0,018	1,13	5,34	100,26	2,53E-03	0,638	12,33
11	del tanque de jabón al mezclador auxiliar	Jabón	Acero inoxidable SS-304	1	0,030	1,31	6,01	438,55	1,52E-03	0,146	2,53
12	del tanque de agua al mezclador auxiliar	Agua	Acero al carbono SA-53 grado B	3/4	0,023	1,73	16,44	40438,79	1,96E-03	0,027	2,91
13	del mezclador auxiliar al tanque de jabón líquido	Jabón líquido	Acero inoxidable SS-304	1 ^{1/4}	0,039	1,45	6,89	984,80	1,18E-03	0,065	1,25
14	del tanque de jabón líquido a la envasadora	Jabón líquido	Acero inoxidable SS-304	1	0,030	1,22	6,91	635,76	1,52E-03	0,101	1,75
V ₁	de la caldera a los tanques sedimentadores	Vapor saturado	Acero inoxidable SS-316	1/8	0,007	0,75	23,01	386,08	6,69E-03	0,166	16,10
V ₂	de la caldera a reactor	Vapor saturado	Acero inoxidable SS-316	3/4	0,021	1,90	5,72	2890,23	2,18E-03	0,046	2,29

Tabla MD.22: Líneas de tuberías presentes en la instalación.

5. INSTRUMENTACION Y CONTROL

Para el transporte de los fluidos entre procesos son necesarios una serie de componentes como y una serie de instrumentos que muestren el transcurso del proceso. Estos componentes son:

- Tuberías (descritas en el punto 4).
- Válvulas: como actuadores se van a utilizar válvulas de regulación y de bloqueo, concretamente se han seleccionado válvulas de tipo aguja a la salida de los tanques (retención), de compuerta (todo-nada) a la entrada de los tanques (manuales y automáticas), y de bola (3 vías, división o unión).

Válvulas	Tipo de válvula	Material de construcción
V1, V13	3 vías (división)	AISI 316
V6	3 vías (unión)	AISI 316
V4, V5, V8, V10, V15, V18, V21, V23, V _{vapor1} , V _{vapor2}	Retención (aguja)	AISI 316
V2, V3, V7, V9, V11, V14, V16, V17, V19, V20, V22	Compuerta (todo-nada)	AISI 316

Tabla MD.23: Válvulas presentes.

- Bombas: centrífugas y de desplazamiento positivo (peristáltica).

Peristáltica	B15
Centrifuga	B1 a B14

Tabla MD.24: Bombas presentes

- Elementos de control: sensores o medidores, transmisores o transductores, controladores, actuadores o elemento final de control.

Las variables a controlar, entre otra, son: el caudal, el nivel de tanque, la temperatura, el pH, etc.

Los lazos de control a controlar del proceso son:

EQUIPO	VARIABLE A CONTROLAR	SET POINT	ELEMENTO FINAL DE CONTROL
Tanques de sedimentación	Nivel superior aceite	80% de su capacidad (20,61 m ³)	Válvula llenado de tanque
Tanques de sedimentación	Temperatura aceite	45 - 50°C	Válvula entrada vapor a tanques de sedimentación
Mezclador de disolución KOH (25%)	Nivel superior	80% de su capacidad (1,46 m ³)	Válvula llenado de tanque
Mezclador de disolución KOH (25%)	Nivel inferior	20% de su capacidad (0,82 m ³)	Alarma luminosa
Mezclador de disolución KOH (25%)	Caudal	4,18·10 ⁻⁴ m ³ /s	Válvula a la entrada
Tanques de almacenamiento de AVU	Nivel superior	80% de su capacidad (19,50 m ³)	Válvula llenado de tanque
Reactor	Nivel aceite	Masa de aceite necesaria para la reacción (2.500 kg/lote)	Válvula a la entrada
Reactor	Temperatura fluido	90-100°C	Sensor T ^a
Reactor	pH	9-10	Sensor de pH
Camisa reactor	Temperatura vapor	142°C	Válvula entrada vapor al reactor
Tanque almacenamiento de jabón	Nivel superior	80% de su capacidad (3,21 m ³)	Válvula llenado de tanque
Tanque almacenamiento de glicerina	Nivel superior	80% de su capacidad (1,99 m ³)	Válvula llenado de tanque
Mezclador auxiliar	Caudal jabón	9,29·10 ⁻⁴ m ³ /s	Válvula a la entrada
Mezclador auxiliar	Caudal agua	7,42·10 ⁻⁴ m ³ /s	Válvula a la entrada
Tanque almacenamiento jabón líquido	Nivel superior	80% de su capacidad (6,27 m ³)	Válvula llenado de tanque
Envasadora	Caudal jabón líquido	8,66·10 ⁻⁴ m ³ /s	Válvula a la entrada

Tabla MD.25: Control de variables del proceso.

6. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA INSTALACIÓN

La producción consiste en la interacción conjunta de factores como persona, material y maquinaria en un sistema ordenado que permita maximizar los beneficios. La localización y distribución de los equipos en la instalación tiene una gran importancia en cuanto a la eficiencia del proceso. Por tanto, los principales objetivos que persigue una buena distribución en planta son:

- la integración conjunta de todos los factores que afectan a la distribución.
- el movimiento del material según distancias mínimas.

- la circulación del trabajo a través de la planta.
- la utilización efectiva del espacio necesario o disponible.
- la satisfacción y seguridad de los trabajadores.
- y la flexibilidad en la ordenación para facilitar ajustes, reordenaciones e imprevistos.

Para obtener la distribución en planta más óptima es necesario conocer los elementos y particularidades de cada factor de producción, su ordenación, y los procedimientos y técnicas que le afecten. Para ello se ha realizado un estudio de cada uno de los factores que repercuten en la misma, obteniendo que la distribución más óptima es la que sigue:

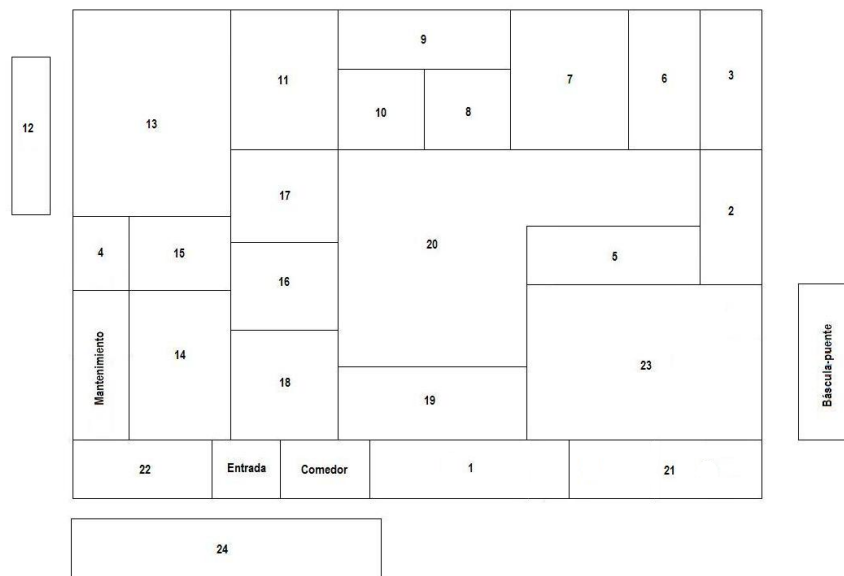


Figura MD.16: Distribución en planta de la alternativa seleccionada.

(Para ver más información de la figura MD.16, del proceso que se ha seguido para obtener la alternativa más óptima, ir al anejo 7 de “Distribución en planta”).

7. PLAN DE PRODUCCIÓN. PLANIFICACIÓN

Se ha diseñado una línea de proceso en base a las siguientes consideraciones:

- Máximo aprovechamiento de la línea.
- Mínimo sobredimensionamiento de la maquinaria.
- Máxima continuidad y uniformidad en la elaboración.

La producción será constante a lo largo de todo el año, estando la planta en funcionamiento 241 días al año, de lunes a viernes, 80 horas a la semana, repartidas en dos turnos de 8 horas, de 6:00 a 14:00h y de 14:00 a 22:00h.

La distribución de tareas es la que sigue, representándolo con el diagrama de Gantt:

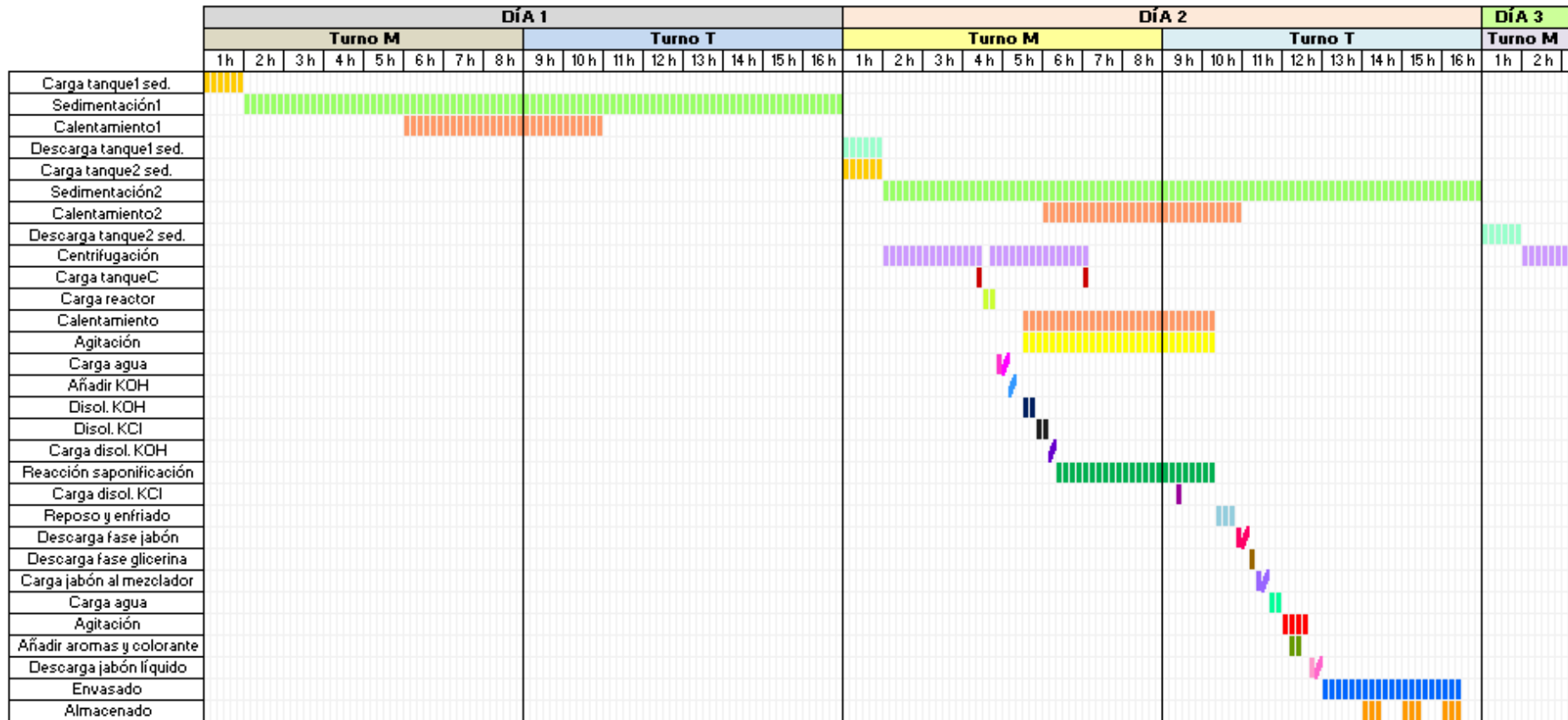


Figura MD.17: Diagrama de Gantt. (Leyenda: 1 cuadro equivale a 10 minutos, 6 cuadros a 1 hora).

7.1. MANO DE OBRA

El proceso de producción puede estar controlado por dos operarios por turno, ya que está muy automatizado. Sin embargo, las normas de seguridad recomiendan que en la planta permanezcan al menos cuatro personas por turno.

Como la planta trabaja 16 horas al día y 5 días a la semana, serán necesarias 14 personas para cubrir las vacaciones y los descansos:

Puesto	Nº empleados
Operarios de planta	8
Auxiliar administrativo	1
Ingeniero de producción	1
Gerente	1
Supervisión/mecánico	2
Técnico laboratorio calidad	1
Total	14

Tabla MD.26: Personal de la planta de proceso de jabón líquido.

En la jornada de trabajo diaria, hay 2 turnos, de mañana y de tarde, como se ha comentado anteriormente. Se trabaja de lunes a viernes. Las jornadas laborales se reparten en completas o partida, según sea:

- Operarios/as y supervisor/a → turno de mañana o tarde, alternando en las semanas consecutivas. 2 operarios y 1 supervisor por turno.
- Ingeniero/a (jefe/a de producción) → turno de mañana especial, de 9:00 a 17:00h. 1 sólo jefe de producción.
- Técnico de laboratorio → turno partido, de 8:00 a 13:00h y de 15:00 a 18:00h.
- Auxiliar administrativo → turno intensivo de mañana, de 8:00 15:00h. 1 sola persona.
- Gerente → horario flexible y 1 persona.

8. LIMPIEZA DE INSTALACIONES

El sistema seleccionado de limpieza para la planta será un sistema de limpieza in-situ (CIP). El diseño y las condiciones de trabajo (secuencia, detergente y desinfectante empleado, temperaturas), varían según las aplicaciones.

La efectividad de cualquier sistema CIP dependerá del diseño de la planta a limpiar. Esencialmente, todas las líneas y equipos que se someten al proceso de limpieza escurrirán libremente, serán de superficies internas lisas y no tendrán fondos ciegos. Las conducciones de los circuitos serán todas del mismo diámetro para que no se produzcan fluctuaciones en las velocidades reflujos de las disoluciones de limpieza.

Tanto si los circuitos CIP funcionan con válvulas o con piezas de cierre, es imprescindible que toda las superficies en con el alimento que hay que limpiar estén incluidas en el circuito.

Un típico sistema de limpieza CIP incluye las siguientes etapas:

- Un preaclarado con agua fría que arrastra el producto que queda en las líneas y para el que se suele utilizar el agua fría del aclarado final del ciclo de limpieza anterior.
- La circulación de un detergente alcalino. Las condiciones dependerían de la línea a limpiar, pero un tratamiento típico consiste en hacer circular la solución durante 10 minutos a 60°C a un flujo de 1,6 m/s. Es importante que el tiempo de tratamiento se cronometre desde el momento en que la solución vuelve al tanque CIP a la temperatura deseada.
- Aclarado con agua potable.
- Circulación del desinfectante (por Ej., 100 ppm de cloro disponible) o de agua caliente (85°C, 15 minutos).
- Aclarado final con agua potable fría.

Hay que señalar que algunas partes del equipo no se limpian bien con los sistemas CIP. Estos componentes deben extraerse, limpiarse manualmente y reinstalarse antes de la circulación del detergente alcalino.

9. EVALUACIÓN FINANCIERA

9.1. ÍNDICES DE VALORACIÓN DE RENTABILIDAD

La vida útil (n) de un proyecto se define como la previsión del tiempo durante el cual el proceso puede operar sin realizar grandes inversiones. La media en la industria química se estima que oscila entre 10 y 20 años. En el caso particular del presente proyecto, se ha obtenido el siguiente valor: **n = 11 años**

El proyecto se financia con 250.000 € de fondos propios, además de un préstamo de 1.509.370 € suscrito con la entidad bancaria Cajamar.

Para acreditar la rentabilidad o viabilidad económica del proyecto se utilizarán cuatro índices de valoración (para un tipo de interés de referencia del 5%).

- Valor neto actual (VAN): 1.708.520€
- Tasa interna de rendimiento (TIR): 12%
- Tasa de valor actual (TVA): 1
- Plazo de recuperación (pay-back): 4,7

De los datos económicos podemos decir que el proyecto es económicamente viable y rentable (consultar el Documento nº5 “Evaluación económico-financiera”).

DOCUMENTO N° 2.

ANEJOS

ÍNDICE DEL DOCUMENTO N° 2

ANEJO 1: UBICACIÓN

ANEJO 2: BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

ANEJO 3: CINÉTICA DE REACCIÓN QUÍMICA

ANEJO 4: DISEÑO DE EQUIPOS

ANEJO 5: INSTRUMENTACIÓN, TUBERÍAS Y ACCESORIOS

ANEJO 6: SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO

ANEJO 7: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

ANEJO 8: SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL

ANEJO 1. UBICACIÓN

ÍNDICE ANEJO 1.

UBICACIÓN

1. LOCALIZACIÓN.....	111
1.1. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO.....	112
1.2. ASPECTOS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE.....	113
1.3. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS 113	
1.3.1. Abastecimiento de agua.....	113
1.3.2. Saneamiento.....	114
1.3.3. Energía eléctrica	114
1.3.4. Alumbrado público.....	114
1.3.5. Red de canalizaciones telefónicas.....	114
1.4. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA DE PARTIDA	115
2. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL.....	115
2.1. ESTUDIO DEL MEDIO	115
2.1.1. Estudio del medio físico	115
2.2. IMPACTO PAISAJÍSTICO.....	117
2.3. INCIDENCIA AMBIENTAL PREVISIBLE O FUTURA.....	117
2.3.1. Fase de ejecución	117
2.3.2. Fase de explotación	117

2.4. MEDIDAS CORRECTORAS DE LAS INCIDENCIAS AMBIENTALES PREVISIBLES	118
2.4.1. Fase de ejecución	118
2.4.2. Fase de explotación	118
2.5. NORMATIVA AMBIENTAL.....	119
3. DATOS DEL IMBUEBLE.....	119

1. LOCALIZACIÓN

La planta proyectada se ubicará en el término municipal de Antas (Almería), a unos 90 km de la capital, en el sector SR-4 del polígono industrial “El Real”.

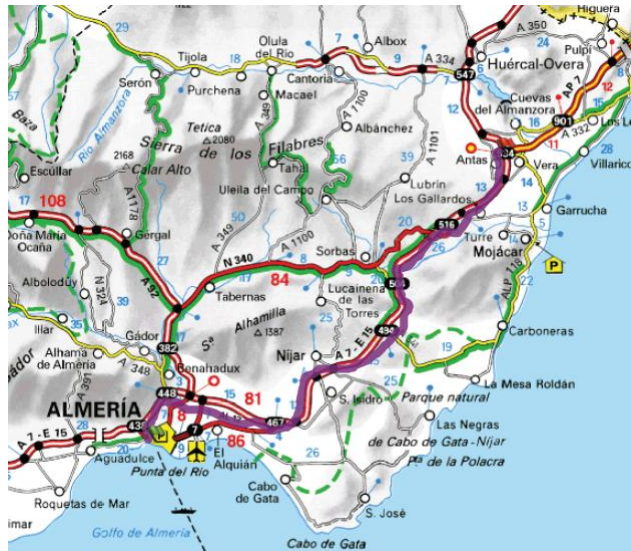


Figura A1.1: Distancia entre el municipio de Antas y Almería capital [1].

Desde Almería capital, ir en dirección Murcia por la Autovía del Mediterráneo A7-E15, unos 80 km, y luego tomar la salida 534-B (N-340/Vera/Antas). Seguir por carretera nacional unos km y a continuación tomar la 2ª salida de la rotonda. Seguir recto y en la siguiente rotonda girar a la derecha y luego a la izquierda.



Figura A1.2: Acceso al polígono El Real en Antas, por la autovía A-7 [2].

[1] Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA): <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>

[2] ViaMichelin: <http://www.viamichelin.es/>

1.1. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

En el Boletín Oficial de la Provincia de Almería, Número 036, con fecha, lunes, 23 de Febrero de 2009, para el Ayuntamiento de Antas, se ha incluido la *Aprobación definitiva de la Modificación puntual Num.3 del Plan Parcial SR-4 del Municipio de Antas*.

Las leyes y artículos que se incluyen en el plan y que, afectan a este territorio son:

- El Artículo 32 de la Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía, en cuanto se refiere al procedimiento de aprobación de los Planes Parciales de iniciativa particular.
- El Artículo 22.2 c) de la Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases de Régimen Local, que atribuye al pleno la competencia para *“La aprobación inicial del planeamiento general y la aprobación que ponga fin a la tramitación municipal de los planes y demás instrumentos de ordenación previstos en la legislación urbanística, así como los convenios que tengan por objeto la alteración de cualesquiera de dichos instrumentos”*.

La junta de gobierno adoptó acuerdo de aprobación inicial en sesión de fecha 18/07/2008.

Algunos de los puntos más relevantes del plan son:

- Aprobar definitivamente la *Modificación Puntual del P.P.O del Sector SR-4 de Antas. Parcelas D-8, D-9, D-10, E-8, E-9, E-10, E-18, E-19, E-20, I-11 y I-12*.
- Modificar las condiciones urbanísticas previstas en dicho Sector, para las parcelas nombradas en el punto anterior. Entre las cuales se encuentra la parcela donde se ubicará nuestra planta de proceso (E-10).
- Modificación de los instrumentos de planeamiento: concepto, procedencia y límites, incluidos en el Artículo 38 de la Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía (LOUA), Ley 7/2002, de 17 de Diciembre.
- Alteración de la ordenación establecida en el P.P.O del Sector SR-4 de Antas.

Los parámetros que definen la ordenanza propuesta son los siguientes:

- **Definición y criterios.** Comprende las parcelas específicas señaladas en los planos adjuntos (ver Documento Planos).

- **Condiciones de ordenación.** Edificación adosada o aislada con ocupación parcial de parcela y tratamiento de paramentos y exteriores como fachada.
- **Condiciones de uso.** Comercial, terciario, industrial, oficinas y artesanía, dotacional, de comunicaciones y aparcamiento.
- **Condiciones de edificación:**
 - Edificabilidad → 0,60 m²/m²
 - Altura máxima → 10 m
 - Ocupación máxima → 60%
 - Retranqueos a fachada → 5 m
- Las parcelas y superficies sobre las que será de aplicación la Ordenanza Terciario (T-3), son las nombradas anteriormente, incluyendo la seleccionada para nuestra ubicación (Parcela E-10: 2.359,00 m²).

1.2. ASPECTOS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE

En este apartado se destacan aquellos aspectos más significativos que permiten justificar el emplazamiento de la planta en el polígono industrial de El Real, en Antas:

- Se trata de un terreno relativamente plano.
- El clima no influye negativamente en las actividades de esta industria.
- Al tratarse de un área industrial no se ve afectada la vegetación y fauna por ser prácticamente inexistente.
- El impacto paisajístico es irrelevante, ya que es una zona con la mayor parte del terreno edificado con otras naves o aún son solares vacíos.
- Durante las fases de ejecución e implantación de la fábrica tendremos distintas actividades las cuales causarán impacto medio-ambiental. Estos impactos se tendrán en cuenta a la hora de llevar a cabo el proyecto y se intentarán minimizar estableciendo medidas correctoras.

1.3. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS

1.3.1. Abastecimiento de agua

- **Características de la red:**

El esquema de la red de abastecimiento corresponde a una malla cerrada, con arquetas registrables y llaves de paso que permiten controlar los distintos anillos que conforman la malla. Se ha conectado a la red existente en un sólo punto de toma que abastece un depósito, situado fuera del sector en terrenos municipales. El trazado de abastecimiento discurre bajo la calzada.

- **Fuente de abastecimiento:**

La red del sector está conectada a la municipal, quedando garantizado el suministro de agua potable por el propio ayuntamiento y por la empresa encargada de la zona (Galasa).

1.3.2. Saneamiento

- **Características de la red:**

El trazado de la red de alcantarillado está adaptado a la topografía del sector. Todos los ramales disponen en cabecera de una cámara de descarga y se han previsto pozos registrables en los cambios de dirección, cruces de calles y cambios de rasante, así como en los tramos de longitud igual o superior 40 m.

- **Depuración prevista:**

Todas las aguas residuales del sector han sido concentradas en el límite sureste donde se ejecutó la conexión a la red general municipal.

1.3.3. Energía eléctrica

El esquema de la red de distribución de energía eléctrica consiste en anillos que envuelven cada manzana, situados bajo la acera en el interior de las canalizaciones. En cada cambio de dirección o cruce de calles existe una arqueta de registro.

1.3.4. Alumbrado público

La red de alumbrado público discurre subterráneamente bajo las aceras en las calles. En las ordenanzas se indica el nivel de iluminación exigible. Los soportes de las luminarias son báculos en todos los casos.

1.3.5. Red de canalizaciones telefónicas

La red de telefónica se encuentra subterránea bajo las aceras, conforme a las especificaciones de la compañía de telefónica nacional de nuestro país.

1.4. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA DE PARTIDA

La ubicación para la planta es adecuada ya que:

- Está cerca de las provincias de Almería, Murcia y Granada, con lo que el suministro de materia prima estaría asegurado (consultar Memoria justificativa).
- Las comunicaciones con la planta son mediante la autovía A-7, lo que hace que éstas sean buenas.

2. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL

2.1. ESTUDIO DEL MEDIO

2.1.1. Estudio del medio físico

Topografía y suelo:

El municipio de Antas, con coordenadas (37°14' N 1°55' O), en el que se enclava el polígono industrial El Real, está situado en el levante almeriense y tiene una extensión de 98,8 Km². Tiene una población de 3.312 habitantes (en 2012) [3].

El clima es árido y está condicionado por los vientos, el de poniente es frío y está asociado al frente atlántico, el de levante es cálido y nos viene del Mediterráneo. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 15 y 19°C, siendo las extremas de 10°C los días más fríos y de 41°C los días más calurosos [3], [4], [5].

Las horas de sol que recibe son altísimas, superiores a las 3.200 horas al año. Las precipitaciones son escasas; llueve de 20-30 días al año y con intensidad de 100-150 mm.

Caracterización climática:

En esta zona predomina el clima mediterráneo. La distribución de temperaturas se puede observar en la figura 3. Cabe destacar que en el año 2012 se registraron valores máximos de temperatura de 34°C y mínimos de 4°C, datos que deberán tenerse en cuenta para el diseño de los equipos.

[3] Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA):
<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/index2.htm>

[4] Ayuntamiento de Antas: <http://www.antas.es/>

[5] <http://www.eltiempo.es/antas.html?v=historico>

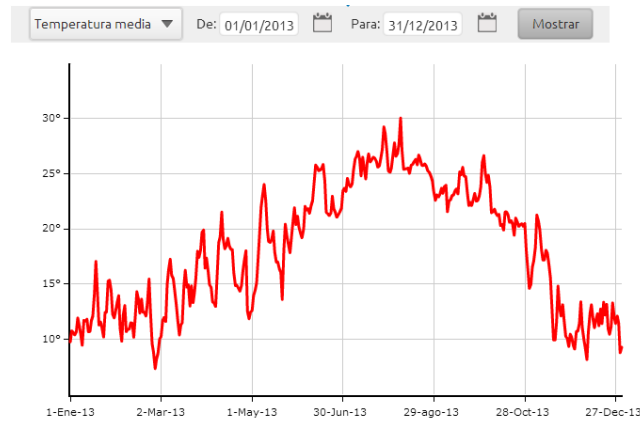


Figura A1.3: Distribución media de temperaturas anuales en Antas (Almería) durante 2012 [5].

En cuanto a precipitaciones medias anuales se muestran en la siguiente figura, como hemos comentado antes se trata de una zona árida donde llueve escasamente:

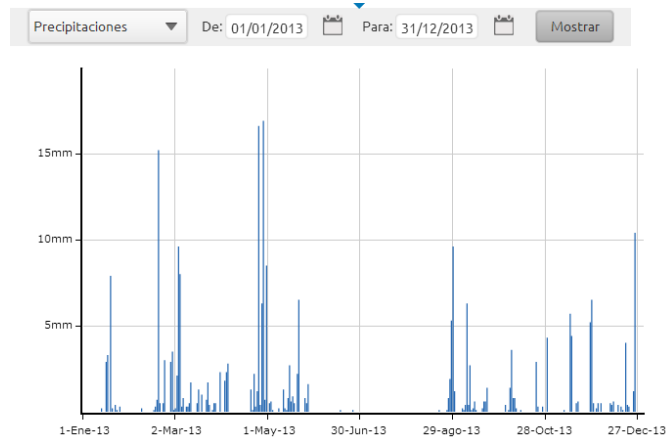


Figura A1.4: Distribución de precipitaciones anuales en Antas (Almería) en 2012 [5].

Y en relación al viento, tenemos la siguiente figura, con máximos anuales de 30 km/h:

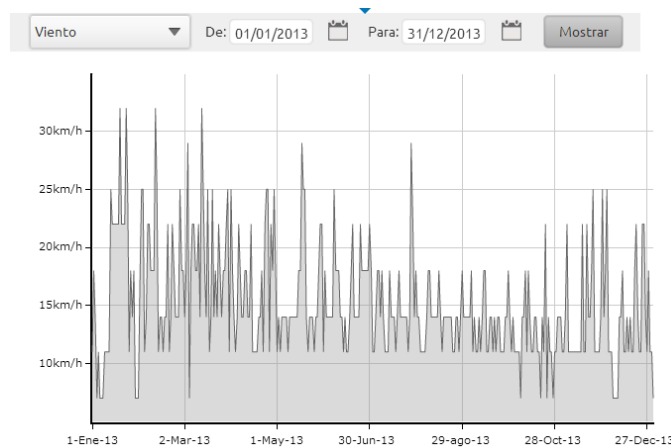


Figura A1.5: Distribución anual del viento en Antas (Almería) en 2012 [5].

2.1.2. Estudio del medio biótico

Vegetación y fauna:

La vegetación propia de la zona donde se va a ubicar la fábrica es muy pobre, debido a la construcción del polígono industrial, con el consiguiente movimiento de tierras. El impacto sobre estos factores ocurrió al inicio de la construcción del polígono industrial, por tanto no afecta al proceso.

2.2. IMPACTO PAISAJÍSTICO

El impacto paisajístico de la nave industrial puede decirse que es pequeño o casi nulo, ya que está rodeado de otras naves industriales. Se trata de un emplazamiento y tipo de suelo destinado al sector industrial.

2.3. INCIDENCIA AMBIENTAL PREVISIBLE O FUTURA

Efectos ambientales derivados de las fases de ejecución y explotación del proyecto, se enumeran a continuación.

2.3.1. Fase de ejecución

- Emisión de polvo
- Producción de ruidos y vibraciones
- Excavaciones, desmontes y rellenos
- Emisión de vertidos procedentes de los materiales empleados
- Riesgos de accidentes de trabajo

2.3.2. Fase de explotación

- Ocupación del suelo
- Producción de ruidos y vibraciones
- Generación de olores, fundamentalmente por los camiones empleados
- Consumo hídrico: aseos personales y agua del proceso
- Consumo energético: iluminación y maquinaria de procesado
- Generación de residuos líquidos: lavado de almacenes y sala de procesado
- Generación de residuos sólidos y basuras: material de embalaje, envases en mal estado, material de laboratorio, material de oficina.

2.4. MEDIDAS CORRECTORAS DE LAS INCIDENCIAS AMBIENTALES PREVISIBLES O FUTURAS

A continuación se citan las medidas encaminadas a la reducción e eliminación del impacto ambiental originado en la fase de ejecución y explotación de nuestra planta.

2.4.1. Fase de ejecución

Las actividades a desarrollar en esta fase generan con frecuencia polvo. Para reducir dicho efecto se aplicarán las siguientes medidas:

- Riegos con mangueras
- Camiones de transporte de tierras y materiales y similares provistos de mallas
- Suspensión de trabajos que originen mucho polvo en días de fuerte viento al igual que las actividades que emitan humo

También se produce ruido debido al empleo de maquinaria, pero se llevarán a cabo revisiones periódicas de la maquinaria con el fin de asegurar un funcionamiento óptimo.

Para la recogida de escombros se dispondrán de contenedores dotados de mallas, se recogerán y vaciarán periódicamente. Los residuos sólidos y líquidos serán retirados al final.

2.4.2. Fase de explotación

En lo referente a la alteración del paisaje, a pesar de su ubicación dentro de un polígono industrial de bajo impacto visual, se aplicarán medidas que faciliten la integración de la industria en su entorno, como pueden ser zonas ajardinadas en los alrededores.

Las aguas residuales generadas en la fábrica y enviadas a la depuradora tendrán mayor carga contaminante que las urbanas que también recibe. Las aguas fecales tendrán como destino la misma depuradora.

Periódicamente se efectuarán controles y registros mediante contadores de agua consumida en la planta con el objetivo de controlar e incentivar el ahorro de este recurso.

2.5. NORMATIVA AMBIENTAL

- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.
- Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015.
- Orden de 13 de junio de 1990, por la que se modifica la Orden de 28 de febrero de 1989, por la que se regula la gestión de aceites usados.

3. DATOS DEL IMBUEBLE

La parcela donde se realizará la construcción de la planta de fabricación de jabón líquido, es la remarcada en rojo en la figura A1.6:



Figura A1.6: Parcela destinada a la construcción de la planta ^[2].

Los datos de la parcela seleccionada se han extraído de la oficina virtual del catastro y se recogen en la siguiente tabla:

Datos de los bienes inmueble	
Referencia catastral	7650810WG9275S0001GQ
Localización	C/ Lugarico Viejo [R] Suelo, 04628 Antas [Almería]
Clase	Urbano
Coefficiente de participación	100,000000 %
Uso	Suelos sin edificar
Datos de la Finca en la que se integran los bienes inmueble	
Localización	C/ Lugarico Viejo [R] Suelo, 04628 Antas [Almería]
Superficie construida	0 m ²
Superficie suelo	2.320 m ²
Tipo Finca	Suelo sin edificar

Tabla A1.1: Datos catastrales de la parcela E-10 donde se construirá la planta [6].

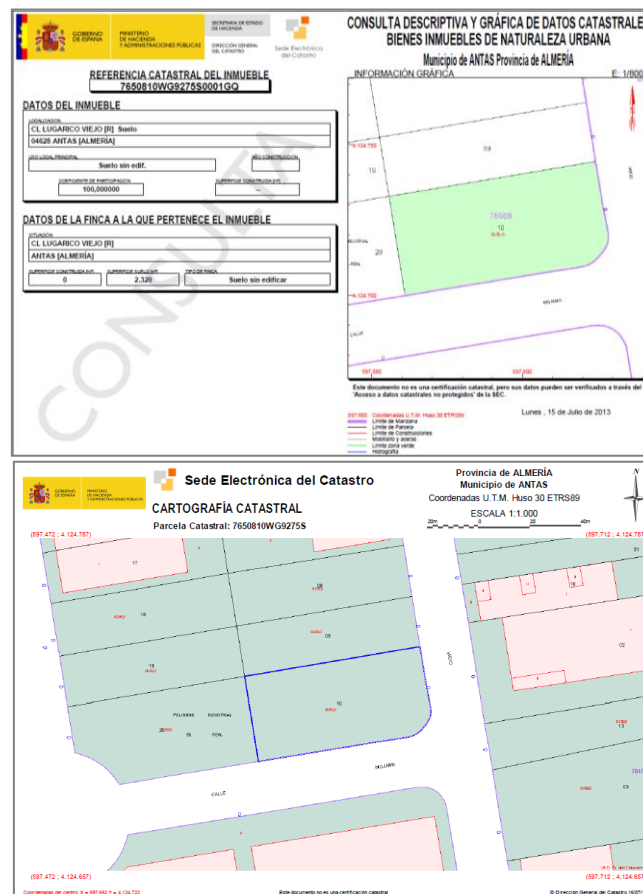


Figura A1.7: Parcela E-10 destinada a la construcción de la planta [6].

ANEJO 2.

BALANCES DE

MATERIA Y ENERGÍA

ÍNDICE ANEJO 2.

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

1. INTRODUCCIÓN	123
2. BALANCES DE MATERIA (BM) AL SISTEMA.....	123
2.1. BM A LA ETAPA DE PRETRATAMIENTO DEL AVU.....	128
2.1.1. Etapa de sedimentación	128
2.1.2. Etapa de centrifugación.....	129
2.2. BM A LA ETAPA DE SAPONIFICACIÓN	130
2.3. BM A LA ETAPA DE MEZCLADO Y TERMINACIÓN.....	132
3. BALANCES DE ENERGÍA (BE) AL SISTEMA.....	134
3.1. BE A LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN DEL AVU.....	134
3.2. BE A LA ETAPA DE SAPONIFICACIÓN	140

1. INTRODUCCIÓN

Para proceder al diseño de la instalación, el primer paso es conocer la cantidad de materia y energía que se consume y se genera en el proceso. En todo proceso industrial, un balance de materia es la contabilidad exacta de todos los materiales que entran, salen, se acumulan o se agotan durante el tiempo de operación dado. Y del mismo modo se puede aplicar a la cantidad de energía del proceso. [1]

Los balances de materia y energía se utilizan para los siguientes fines:

- En el planteamiento de una industria, como base de cálculo del costo de los materiales y de la energía.
- Para el planteamiento y control de la producción.
- Para el planteamiento de la logística de la empresa.
- Para el control de los rendimientos de las materias primas y de los materiales auxiliares.
- Para el control de los consumos unitarios de las materias primas y secundarias, así como de la demanda de energía. [2]

2. BALANCES DE MATERIA AL SISTEMA

La ecuación general del balance de materia:

$$\begin{aligned} \left\{ \begin{array}{l} \text{Entrada de materia} \\ \text{al sistema} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Generación de materia} \\ \text{por reacción química} \end{array} \right\} = \\ = \left\{ \begin{array}{l} \text{Salida de materia} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Acumulación de materia} \\ \text{en el sistema} \end{array} \right\} \end{aligned} \quad [\text{Ec. A2.1}]$$

En el caso que nos ocupa (generación de materia por reacción química), la saponificación de los triglicéridos contenidos en el aceite, es un proceso intrínsecamente discontinuo que trabaja por lotes, por lo que los términos de entrada y salida se consideran nulos, y la ecuación anterior queda simplificada a la siguiente expresión:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Generación de materia} \\ \text{por reacción química} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Acumulación de materia} \\ \text{en el sistema} \end{array} \right\} \quad [\text{Ec. A2.2}]$$

$$(-r_A) \cdot V = - \frac{dN_A}{dt} \quad [\text{Ec. A2.3}]$$

[1] Hougen, Watson y Ragatz (1982). "Principios de los procesos químicos". Vol. 2. Ediciones Reverté.

[2] Otto Leidinger (1997). "Procesos industriales" Fondo Editorial.

donde,

$(-r_A)$ = velocidad de reacción química (mol/L·s).

V = volumen del reactor (L).

(dN_A/dt) = cambio en el nº de moles de aceite en un instante de tiempo t determinado (moles/s).

Sabiendo que la especie que controla la reacción, o sea el reactivo limitante, es el aceite, se tienen las siguientes ecuaciones:

- Conversión del aceite durante la reacción:

$$x_A = \frac{N_{A0} - N_A}{N_{A0}} \quad [\text{Ec. A2.4}]$$

donde,

x_A = conversión del aceite durante la reacción (%).

N_{A0} = nº de moles de aceite inicialmente (moles).

N_A = nº de moles de aceite a tiempo t (moles).

- Concentración del aceite en función del número de moles y del volumen:

$$c_A = \frac{N_A}{V} \quad [\text{Ec. A2.5}]$$

con, c_A = concentración de aceite al final de la reacción (M).

- Velocidad de reacción para una reacción química de segundo orden. Se sabe que el componente B, que es la disolución de KOH, está en exceso respecto al aceite, 3 moles de KOH por cada mol de aceite, por tanto la cinética de la reacción de saponificación se puede suponer de pseudo-primer orden:

$$(-r_A) = k \cdot c_A \cdot c_B = k' \cdot c_A \quad [\text{Ec. A2.6}]$$

Sustituyendo las ecuaciones A2.4, A2.5 y A2.6, en la ecuación A1.3, que es la expresión del balance para un reactor discontinuo e isoterma, se obtiene finalmente que:

$$\int_0^t dt = - \int_{N_{A0}}^{N_A} \frac{N_{A0} \cdot dx_A}{(-r_A) \cdot V} = c_{A0} \cdot \int_{x_{A0}}^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)} \rightarrow t = \frac{1}{k'} \cdot \frac{1}{(1-x_A)} \quad [\text{Ec. A2.7}]$$

donde,

c_{A0} = concentración del aceite en el instante inicial (mol/L).

c_A = concentración del aceite en el instante final (mol/L).

c_B = concentración del KOH en el instante final (mol/L).

t = tiempo de reacción (min).

k' = constante aparente de la reacción (min^{-1}).

x_A = conversión del aceite al final de la reacción.

Observando la ecuación A2.7 vemos que el balance de materia no depende de las concentraciones de reactivos, si no tan sólo de la inversa de la constante cinética y de la conversión del aceite. La resolución del balance de materia, es decir del tiempo de reacción, se llevará a cabo en el anejo 3 “Cinética de reacción química”.

En el presente anejo, se calcularán las cantidades necesarias para llevar a cabo cada etapa del proceso. Para ello, consideraremos que:

- El aceite de partida está formado por una mezcla de oliva y girasol, en una proporción de 40-60% en peso, respectivamente.
- El aceite, en el momento de su recepción, contiene un 1% de sólidos, un 7% de agua y un 0,5% de ceras o impurezas. El resto consideramos que son triglicéridos (91,5%).
- De la mezcla de oliva-girasol se toman los ácidos grasos mayoritarios comunes a los dos, que son el ácido oleico, linoleico y palmítico.

El tercer punto del listado anterior, es útil para calcular el peso molecular del aceite, basándonos en el peso de los triglicéridos y de los ácidos grasos libres.

Nombre común	Palmítico	Oleico	Linoleico
Nombre sistemático	C 16:0 (Hexadecanoico)	C 18:1 n-9 (Octadecenoico)	C 18:2 n-6 (Octadecadienoico)
Nº átomos de C	16	18	18
Nº insaturaciones (enlaces dobles)	0 (ác. graso saturado)	1	2
PM del ácido	256,42	282,44	280,43
PM del triglicérido	807,30	885,40	879,30
Índice de neutralización del ácido	218,80	198,60	200,00

Índice de saponificación del triglicérido	208,5	190,10	191,40
---	-------	--------	--------

Tabla A2.1: Pesos moleculares e índices de saponificación de los ácidos grasos y triglicéridos mayoritarios en aceites de oliva y girasol [3].

Las principales características y las composiciones de los aceites de oliva y de girasol, se muestran en las tablas 2 y 3, respectivamente:

Análisis	Aceite de oliva
Índice de yodo	83,70
Índice de refracción a 20°C	1,47
Índice de saponificación	192,40
Densidad a 20-25°C (g/cm ³)	0,916-0,912
Nº de ácido	1,80
Ácidos Grasos (% en peso seco)	
Palmitico	11,20
Esteárico	1,40
Aráquico	0,20
Oleico	75,75
Linoleico	8,45

Tabla A2.2: Valores medios de composición y características de un aceite de oliva [3].

Análisis	Aceite de girasol
Índice de yodo	139,30
Índice de refracción a 20°C	1,47
Índice de saponificación	188,00
Densidad a 20-25°C (g/cm ³)	0,921-0,919
Ácidos Grasos (% en peso seco)	
Palmitico	5,30
Esteárico	2,90
Aráquico	0,60
Oleico	26,50
Linoleico	62,75

Tabla A2.3: Valores medios de composición y características de un aceite de girasol [3].

Tomando los ácidos grasos mayoritarios comunes a las composiciones de los dos tipos de aceite (como se ha comentado anteriormente), se tiene que la mezcla 40% oliva-60% girasol, contiene (tabla A2.4):

Ácidos Grasos	Oli- iva	Gi- rasol	Mezcla 40- 60% oliva- girasol
Oleico	75 ,75%	26 ,50%	46,20%
Linoleico	8, 45%	62 ,75%	41,03%
Palmítico	11 ,20%	5, 30%	7,66%

Tabla A2.4: Composición de la mezcla 40-60% de aceite de oliva-girasol.

Otros datos de interés que serán necesarios para cálculos auxiliares en los balances de materia y energía de la mezcla 40:60% de aceite de oliva y girasol son los siguientes:

Propiedades	Mezcla 40-60%
Densidad (g/cm ³)	(2) 0°C) 0,919 (2) 5°C) 0,916
Viscosidad cinemática (cSt)	(3) 7,8°C) 38,66 (9) 8,9°C) 8,64
Viscosidad dinámica (kg/m·s)	(2) 0-25°C) 4,67·10 ⁻² (3) 8°C) 3,70·10 ⁻² (9) 9°C) 7,80·10 ⁻³
Índice de yodo	114,48
Índice de refracción	(2) 0°C) 1,47
Índice de saponificación	189,76
Capacidad calorífica (cal/g·K)	0,507

Tabla A2.5: Otras propiedades físicas de la mezcla 40-60% de aceite de oliva-girasol [3]. [4].

[3] Bailey, Alton (1984). "Aceites y grasas industriales ". Ediciones Reverté.

[4] R. H. Perry, D. W. Green. (1999). "Perry's Chemical Engineers' Handbook". Editorial McGraw-Hill.

Para facilitar los cálculos y poder obtener una fórmula del AVU, suponemos que el aceite utilizado en el proceso es una mezcla de sus ácidos grasos mayoritarios, o sea, un triglicérido, compuesto por una molécula de ácido oleico, una de linoleico y otra de palmítico. Por tanto la fórmula química del aceite sería:

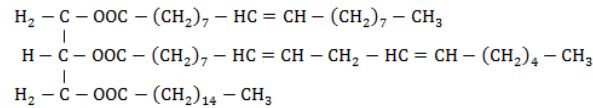


Figura A2.1: Estructura molecular del triglicérido de la mezcla aceite de oliva y girasol.

Y en su forma simplificada, $\text{C}_{52} \text{H}_{100}(\text{COO})_3$, con un peso molecular de 856 g/mol. Una vez conocidos los datos de partida, procedemos a plantear los balances de materia para cada una de las etapas de nuestro proceso.

2.1. BM A LA ETAPA DE PRETRATAMIENTO DEL AVU

2.1.1. Etapa de sedimentación

El aceite usado llega a la planta con un contenido en agua y sólidos que hay que reducir para poder utilizarlo en la siguiente fase de fabricación de jabón.

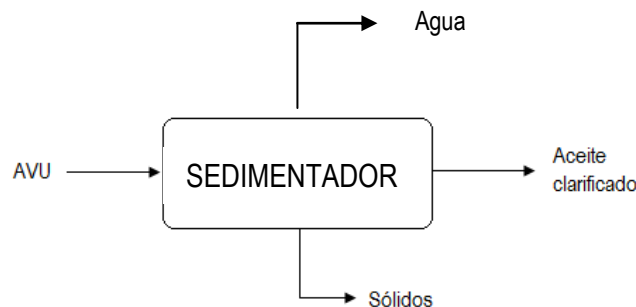


Figura A2.2: Diagrama de bloques para la etapa de sedimentación.

Las composiciones de cada corriente de entrada y salida se detallan en la tabla 6:

		ENTRADA	SALIDA		
		AVU	Aceite clarificado	Desecho (mezcla de agua y sólidos)	
		(kg/día)	20.000	18.400	1.600
Composición (% peso)	Aceite	91,50%	98,15%	15%	
	Agua	7%	1,52%	70%	
	Sólidos	1%	0,33%	8,75%	
	Ceras	0,5%	-	6,25%	

Tabla A2.6: Balances de materia a la etapa de sedimentación.

En los tanques de sedimentación se procesa todo el aceite usado que proviene de la etapa anterior, la etapa de desbaste, donde se han retirado los sólidos más voluminosos de la materia prima que proviene de los camiones cisterna.

La temperatura que alcanza el aceite, al ser calentado, en esta etapa es de unos 45-50°C, lo que facilita su clarificación y separación de los elementos volátiles y agua, de la parte oleosa que es la que nos interesa (ya que se han formado 2 fases).

Las condiciones que se han aplicado para el cálculo de los balances de materia en esta etapa han sido:

- La cantidad de mermas totales (sólidos) a la salida está en torno al 7% del peso del aceite a la entrada.
- La sedimentación retiene en torno al 70-80% de los sólidos y el agua que contiene el AVU de partida.

2.1.2. Etapa de centrifugación

El aceite que ha sido sedimentación en la etapa anterior necesita un tratamiento más exhaustivo para eliminar el resto de los sólidos, los de menor tamaño, y el agua que siga teniendo. Por ello es necesario aplicar la centrifugación. Ésta se realiza en una centrífuga de discos que permite separar las tres fases de la mezcla, el aceite purificado, el agua y los sólidos suspendidos en la mezcla. Debido a que la capacidad máxima del equipo centrífugo es de 15 m³, se va a realizar la purificación del aceite en varios lotes, de 11 m³.

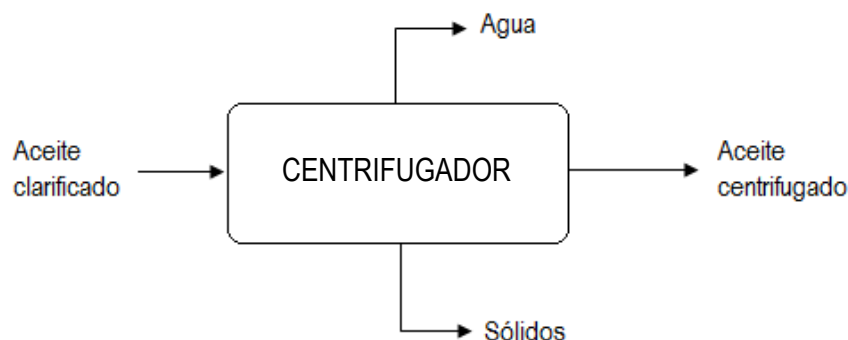


Figura A2.3: Diagrama de bloques para la etapa de centrifugación.

Las composiciones de cada una de las corrientes de entrada y salida en esta etapa se detallan en la tabla A2.7:

		ENTRADA	SALIDA		
		Aceite clarificado	Aceite centrifugado	Fase acuosa	Fase sólida
Composición (%peso)	(kg/lote)	2.500	2.478	14	8
	Aceite	98,15%	99%	1%	-
	Agua	1,52%	1%	93%	6%
	Sólidos	0,33%	-	6%	94%

Tabla A2.7: Balances de materia a la etapa de centrifugación.

Las condiciones que se han aplicado para el cálculo de los balances de materia en esta etapa han sido:

- La centrifugación retiene en torno al 70-90% de los sólidos y el agua que contiene el AVU de partida.
- El modelo de centrífuga seleccionado (DA 45-01-026 de Gea Westfalia) tiene como capacidad máxima de descarga de sólidos 1.600 kg en cada carga.

2.2. BM A LA ETAPA DE SAPONIFICACIÓN

El objetivo principal del presente proyecto, es la producción del jabón. Esta etapa, se trata, por tanto, de la principal del proceso, donde tiene lugar la reacción química entre un aceite con un álcali en presencia de agua, llamada saponificación, para convertirse en jabones.

El aceite, previamente purificado mediante sedimentación con calentamiento, que sirve además para eliminar olores, y la posterior centrifugación, llega al reactor de saponificación para mezclarse con la potasa cáustica (KOH) y el agua, para formar el jabón y el glicerol.

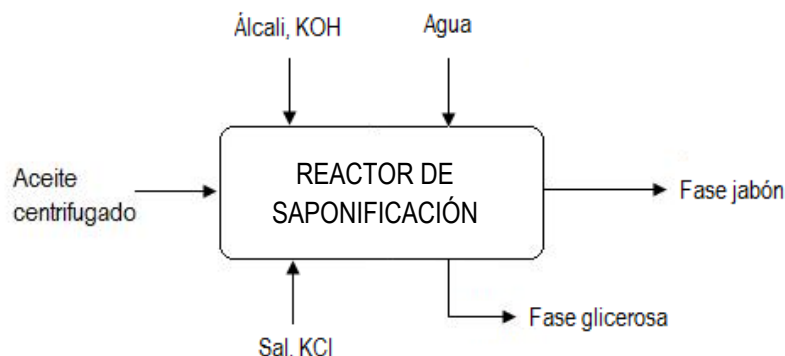


Figura A2.4: Diagrama de bloques para la etapa de saponificación.

La reacción de saponificación tiene lugar en un reactor tipo tanque agitado que opera en discontinuo, por lotes. Cada lote está compuesto por 2.500 kg de aceite

centrifugado que proviene de la fase anterior y demás componentes implicados en la reacción. En cada uno de los dos turnos de producción se fabrica un lote, por tanto se consumen 5.000 kg de aceite limpio al día.

Las composiciones de cada una de las corrientes de entrada y salida para un lote se detallan en la tabla A2.8:

		ENTRADA				SALIDA	
		Aceite centrifugado	Potasa (KOH)	Agua	Sal (KCl)	Jabón	Fase glicerina
(kg/día)		2.500	474	1.423	150	3.390	1.157
Composición (% peso)	Aceite	99%	-	-	-	-	-
	Agua	1%	-	100%	-	18,45%	72,90%
	KOH	-	100%	-	-	-	-
	KCl	-	-	-	100%	1%	12%
	Jabón	-	-	-	-	74,50%	-
	Glicerol	-	-	-	-	6%	15%
	Álcali libre (%KO ₂)	-	-	-	-	0,05%	0,10%

Tabla A.8: Balances de materia a la etapa de saponificación.

El reactor, además de estar provisto de un agitador tipo hélice marina, está rodeado por una camisa de calefacción que permite alcanzar una temperatura de 80-100°C, necesaria para mezclar todos los compuestos de la reacción y que la misma tenga lugar en su totalidad. La saponificación, pese a tratarse de una reacción exotérmica, necesita más aporte de calor, por tanto se ha recurrido a la instalación de la camisa.

Las condiciones que se han aplicado para el cálculo de los balances de materia en la etapa de reacción han sido:

- la relación entre la cantidad de aceite y/o grasa en una reacción de saponificación se calcula mediante el índice de saponificación, que es la cantidad de álcali (KOH), en miligramos, necesaria para saponificar 1 gramo de aceite y/o grasa. Se ha tomado un valor promedio, ya que como comentamos al inicio de este anejo, la composición del aceite de partida es una mezcla 40-60% de oliva-girasol.

$$IS = \frac{0,40 \cdot IS_{\text{aceite oliva}} + 0,60 \cdot IS_{\text{aceite girasol}}}{2} \quad [\text{Ec. A2.8}]$$

$$IS = \frac{0,40 \cdot 192,40 + 0,60 \cdot 188}{2} = 189,76$$

- la potasa cáustica o hidróxido potásico se adiciona al aceite en forma de disolución (25% de KOH, 75% de agua desionizada).
- la cantidad de sal que se añade debe de estar comprendida entre el 6-10% del peso del aceite inicial. En nuestro caso se ha optado por un 6% de KCl.
- de la reacción de saponificación se obtienen dos fases claramente diferenciadas según su densidad:
 - la fase superior → menos densa, que está compuesta por lo que se denomina “jabón base”, que es el producto de la reacción. Ésta es la que nos interesa.
 - la fase inferior → más densa, compuesta por una mezcla de glicerina y agua principalmente, y se la denomina “lejía” o “fase glicerosa”. Ésta se desecha, ya que no nos interesa para este proceso. Se podría vender a empresas que se dediquen a la obtención de glicerina, que aplicando varias etapas de purificación (evaporación, destilación, desodorización, etc.), pueden obtener el producto hasta con un 75% de pureza.

2.3. BM A LA ETAPA DE MEZCLADO Y TERMINACIÓN

La última etapa del proceso es el mezclado del jabón base obtenido en la saponificación anterior, con más agua y aditivos (aromas y pigmentos), para obtener el jabón líquido con el aspecto físico (textura de gel, aroma y color) deseados.

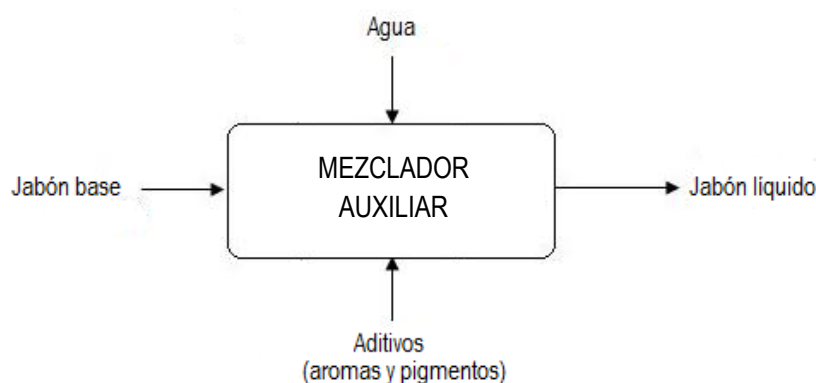


Figura A2.5: Diagrama de bloques para la etapa de mezclado y terminación del jabón.

Las composiciones de cada una de las corrientes de entrada y salida para un lote se detallan en la tabla A2.9:

		ENTRADA			SALIDA
		Jabón	Agua	Aditivos	Jabón líquido
Composición (% peso)	(kg/día)	3390	2672	253	6315
	Jabón	74,50%	-	-	38,30%
	Agua	18,45%	100%	-	54%
	Sal (KCl)	1%	-	-	0,50%
	Glicerina	6%	-	-	3,20%
	Álcali libre	0,05%	-	-	-
	Deodorante y fragancias	-	-	97,50%	3,90%
	Pigmentos	-	-	2,50%	0,10%

Tabla A2.9: Balances de materia a la etapa de mezclado y terminación del jabón.

Las condiciones que se han aplicado para el cálculo de los balances de materia en la etapa de reacción han sido:

- el rango de composición de los elementos o ingredientes de un jabón de tocador (en nuestro caso sería el jabón formado en el reactor) es el siguiente:

Ingrediente	Rango de composición (% peso)	Elección para el proceso (%)
Jabón	65-85	74-75
Glicerina, lanolina	0,5-6	5-6
Ácidos grasos	0,5-3	-
Sal (NaCl ó KCl)	0,3-2	1-1,5
Almidón	0-10	-
BHT (Butilato Hidroxitolueno)	0,1-0,5	-
EDTA	0,1-0,5	-
Dióxido de titanio (TiO₂)	0,1-0,5	-
Deodorantes	0,2-1,5	1-1,5
Fragancias	0,5-2,5	2-2,5
Pigmentos y tintes	0-0,01	0,05-0,1
Agua	8-15	15-18

Tabla A2.10: Formulación habitual de un jabón de tocador comercial [5].

El producto a comercializar en el presente proyecto, es un “jabón natural”, por lo que no se emplean algunos de estos compuestos para modificar propiedades del mismo. Sólo los indicados en las tablas de balances de materia. Los pigmentos actúan como oxidantes, e incluso podríamos añadir

BHT también para preservar la mezcla, ya que no supone demasiado gasto (sólo habría que añadir entre 0,1-0,5% del peso total).

- para formulaciones líquidas la composición normal de jabón base (el que se obtiene de la saponificación directa), está entre el 15 y 40%, siendo el resto agua [6]. En caso de contener más ingredientes, se estimará la cantidad de la misma en relación al % de los aditivos que se deseen agregar (según tabla 10).

3. BALANCES DE ENERGÍA AL SISTEMA

Además de la materia que entra, sale, se genera y/o se acumula en nuestro sistema, es imprescindible conocer la cantidad de energía necesaria para llevar a cabo la transformación de los reactivos en productos. Por ello, es igualmente importante el cómputo de la energía que se va a consumir y generar en el proceso.

En nuestro caso particular, la etapa más importante en términos de energía coincide con la de los balances de materia, esto es, la reacción de saponificación, etapa principal del proceso. Además, en una etapa anterior del proceso (sedimentación del AVU), es necesario también calentar la mezcla para eliminar sólidos y agua, y así purificar el aceite.

3.1. BE A LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN DEL AVU

Los dos sedimentadores están provistos de un serpentín cada uno, situados en la sección horizontal del tanque, es decir, en uno de los laterales del recipiente cilíndrico, a 1,5 metros de la transición troncocónica.

Es necesario aplicar calentamiento durante esta etapa para eliminar la mayor cantidad de sólidos en suspensión y el agua contenidos en el AVU, como se ha comentado anteriormente. Por lo que, en ese sentido se tiene que:

1. estimar la velocidad de transferencia de calor del fluido que contiene el tanque (AVU).
2. estimar la velocidad de transferencia de calor del material del tanque (acero al carbono).

[5] Friedman, M.; Wolf, R. (2003). "Chemistry of soaps and detergents: various types of comercial products and their ingredients". Elsevier

[6] Miller Cavitch, S. (1999). "Guía práctica para hacer jabón". Editorial Paidotribo.

3. además de las pérdidas de calor que pudiera sufrir el tanque por sus laterales, por su contacto con el aire. Se estima que estas pérdidas giran en torno a un 4% del calor total.

1. Velocidad de transferencia de calor del fluido en el tanque. Calor requerido para el calentamiento del AVU:

$$Q_{\text{fluido}} = m_{\text{fluido}} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [\text{Ec. A2.9}]$$

$$Q_{\text{fluido}} = m_{\text{fluido}} \cdot c_p \cdot \Delta T = 1,38 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

con,

m_{fluido} = cantidad de líquido que va a albergar el tanque (kg/día). Son los 20.000 kg de AVU que se sedimentan en un tanque.

c_p = capacidad calorífica del aceite (1,9646 kJ/kg·K).

$\Delta T = (T_{\text{fluido final}} - T_{\text{fluido inicial}}) = (50-15) = 35^\circ\text{C}$.

El tiempo de calentamiento estimado para los sedimentadores es de 8 horas, por lo que, se puede calcular la potencia del serpentín como:

$$P = \frac{Q_{\text{fluido}}}{t_{\text{calentamiento}}} = 47,56 \text{ kW} \quad [\text{Ec. A2.10}]$$

2. Velocidad de transferencia de calor del material del tanque. Calentamiento del acero:

$$Q_{\text{tanque}} = m_{\text{acero}} \cdot c_{p \text{ acero}} \cdot \Delta T \quad [\text{Ec. A2.11}]$$

con,

m_{acero} = masa de acero que es necesario calentar (kg). Se calcula mediante la densidad del acero y el volumen del recipiente que hay que calentar (volumen del cono, parte inferior del tanque).

$c_{p \text{ acero}}$ = capacidad calorífica del acero (0,5 kJ/kg·°C).

$$V_{\text{acero al}} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 + 2 \cdot \pi \cdot D \cdot H \right) \cdot t_{\text{tanque}} \quad [\text{Ec. A2.12}]$$

donde,

D = diámetro del tanque (4,62 m).

H = altura del tanque (1,88 m).

t_{tanque} = espesor del tanque. Debido a los esfuerzos tangenciales (11,65 mm).

$$m_{\text{acero}} = \frac{V_{\text{acero al carbono}}}{\rho_{\text{acero}}} \quad [\text{Ec. A2.13}]$$

donde,

ρ_{acero} = densidad del acero al carbono (7850 kg/m³).

De la ecuación A2.12 se tiene que el volumen del acero es de 0,85 m³.

De la ecuación A2.13 obtenemos que la masa de acero que es necesario calentar, y es de 6710,85 kg.

Ahora ya podemos con ayuda de la ecuación A2.11 calcular el calor que hay que aportar al tanque de acero al carbono para calentarlo:

$$Q_{\text{tanque}} = 6710,85 \cdot 0,5 \cdot 35 = 1,17 \cdot 10^5 \text{ kJ}$$

acero al C

Y la potencia requerida: $P = \frac{Q_{\text{tanque}}}{t_{\text{calentamiento}}} = 4,06 \text{ kW}$

3. Pérdidas de calor por la superficie del tanque:

$$Q_{\text{pérdidas}} = 0,04 \cdot \left(Q_{\text{fluido}} + Q_{\text{tanque}} \right) = 5,97 \cdot 10^4 \text{ kJ} \quad [\text{Ec. A2.14}]$$

acero al C

$$P = 2,06 \text{ kW}$$

Para finalizar ya podemos calcular el calor total que es necesario aportar a cada tanque, que sería la suma de los tres calores anteriores:

$$Q_{\text{total a}} = Q_{\text{fluido}} + Q_{\text{tanque}} + Q_{\text{pérdidas}} \quad [\text{Ec. A2.15}]$$

aportar acero al C

$$Q_{\text{total}} = 1,55 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

$$P = 53,69 \text{ kW}$$

Por el interior del serpentín de cada uno de los 2 tanques, circulará un vapor saturado a una presión de 2 bares y a una temperatura de saturación de unos 120°C. El resto de las características de este vapor se han tomado de la siguiente tabla:

P saturación (kg/cm ²)	T ^a saturación (°C)	Vol. específico (m ³ /kg)	Entropía del líquido, s' (Kcal/kg·°K)	Entropía del vapor, s'' (Kcal/kg·°K)	Entalpía liq., h' (Kcal/kg)	Entalpía vap., h'' (Kcal/kg)
2,0	119,62	0,9016	0,3638	1,7029	119,87	645,8

Tabla A2.11: Propiedades termodinámicas del vapor de agua saturado [9].

Además del calor que es necesario aportar a los tanques para calentar el AVU, hay que tener en cuenta el calor disipado por el mismo a los alrededores. Debido a que los tanques están en contacto con el aire, que se encuentra a temperatura ambiente, es necesario calcular el calor que se pierde durante el proceso de calentamiento. Para ello utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{disipado}} = A_e \cdot U_e \cdot \Delta T_m \tag{Ec. A2.16}$$

con,

Q_{disipado} = calor disipado del interior del tanque al ambiente (kJ/h).

U_e = coeficiente global de transmisión de calor desde el tanque de acero al exterior (W/m²·h·K). Su valor se ha obtenido de la figura 7 (1,5 BTU/ft²·h·°F).

ΔT_m = diferencia de temperatura entre el fluido (aceite) y el aire del exterior (K).

A_e = área de intercambio de calor del tanque al exterior (m²). Se calcula según la tabla de la figura A2.6. Se ha seleccionado el caso de “tanque con patas en interior y no aislado”, por tanto se tiene que:

$$A_e = 0,53 \cdot A_t + A_b + A_s \tag{Ec. A2.17}$$

A_t = área de la parte superior del tanque (m²).

A_b = área del fondo cónico del tanque (m²).

A_s = área de las paredes o laterales del tanque (m²).

Application	Fluid	U_e	A_e
Tanks on legs, outdoors, not insulated	Oil	3.7	$0.22 A_t + A_b + A_s$
	Water at 150°F	5.1	$0.16 A_t + A_b + A_s$
Tanks on legs, outdoors, insulated 1 in.	Oil	0.45	$0.7 A_t + A_b + A_s$
	Water	0.43	$0.67 A_t + A_b + A_s$
Tanks on legs, indoors, not insulated	Oil	1.5	$0.53 A_t + A_b + A_s$
	Water	1.8	$0.35 A_t + A_b + A_s$
Tanks on legs, indoors, insulated 1 in.	Oil	0.36	$0.8 A_t + A_b + A_s$
	Water	0.37	$0.73 A_t + A_b + A_s$
Flat-bottom tanks, f outdoors, not insulated	Oil	3.7	$0.22 A_t + A_b + 0.43 D_t$
	Water	5.1	$0.16 A_t + A_b + 0.31 D_t$
Flat-bottom tanks, f outdoors, insulated 1 in.	Oil	0.36	$0.7 A_t + A_b + 3.9 D_t$
	Water	0.37	$0.16 A_t + A_b + 3.7 D_t$
Flat-bottom tanks, indoors, not insulated	Oil	1.5	$0.53 A_t + A_b + 1.1 D_t$
	Water	1.8	$0.35 A_t + A_b + 0.9 D_t$
Flat-bottom tanks, indoors, insulated 1 in.	Oil	0.36	$0.8 A_t + A_b + 4.4 D_t$
	Water	0.37	$0.73 A_t + A_b + 4.5 D_t$

Figura A2.6: Valores de U_e y de A_e para distintas configuraciones de tanques [4].

Calculamos el valor de cada una de las áreas implicadas en la ecuación A2.17:

- Área de la parte superior del tanque: $A_t = \pi \cdot R_t^2 = 16,74 \text{ m}^2$
 $D_t = 4,62 \text{ m}$ (Es el diámetro del tanque de sedimentación calculado en el anejo 4 “Diseño de equipos”).
- Área del fondo cónico del tanque: $A_b = \pi \cdot R_t \cdot G_{\text{cono}} = 16,74 \text{ m}^2$
 Con G_{cono} la generatriz del fondo cónico ($G_{\text{cono}} = \sqrt{h_{\text{cono}}^2 + R_t^2}$), y $h_{\text{cono}} = 0,34 \text{ m}$ (calculado en el anejo 4 “Diseño de equipos”).
- Área de los laterales del tanque: $A_s = 2 \cdot \pi \cdot R_t \cdot H_t = 22,32 \text{ m}^2$

Tenemos el área de intercambio de calor del tanque al exterior: $A_e = 48,12 \text{ m}^2$

Para calcular el término de incremento de temperatura medio, utilizamos la ecuación A2.18:

$$\Delta T_m = \left(\frac{T_{\text{fluido inicial}} + T_{\text{fluido final}}}{2} \right) - T_{\text{aire}} \quad [\text{Ec. A2.18}]$$

$$\Delta T_m = \left(\frac{15 + 50}{2} \right) - 22 = 10,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ya que conocemos todos los términos de la ecuación A2.16, planteada antes, el último paso es el cálculo del calor disipado hacia el exterior:

$$Q_{\text{disipado}} = 48,12 \text{ (m}^2\text{)} \cdot 8,52 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \cdot 10,5 \text{ K} = 4,30 \cdot 10^3 \text{ kJ} \quad [\text{Ec. A2.19}]$$

$$P = 4,30 \text{ kW}$$

Por tanto el calor necesario para alcanzar la temperatura de 50°C en los tanques sedimentadores es la suma del calor total a aportar (calculado con la ecuación A2.15) y el calor disipado hacia el exterior:

$$Q_{\text{global}} = Q_{\text{total a aportar}} + Q_{\text{disipado}} = 1,56 \cdot 10^6 \text{ kJ} \quad [\text{Ec. A2.20}]$$

Este calor debe de ser aportado por el vapor, por lo que se tiene que calcular el caudal necesario para el calentamiento:

$$m_v = \frac{Q_{\text{global}}}{\lambda_v} \quad [\text{Ec. A2.21}]$$

$$m_v = \frac{1,56 \cdot 10^6 \text{ (kJ)} / 8 \text{ (h)}}{2201,96 \text{ (kJ/kg)}} = 88,02 \text{ kg/h}$$

λ_v = es el calor latente de vaporización (kJ/kg). Haciendo uso de la tabla A2.11 y teniendo en cuenta que el vapor de agua saturado tiene una presión de 2 bares, es posible obtener dicho valor.

m_v = caudal de vapor saturado necesario para alcanzar la temperatura de calentamiento para la sedimentación.

Ahora ya podemos calcular el área de intercambio necesaria para el serpentín:

$$Q_{\text{global}} = A_{\text{serpentín}} \cdot U_{\text{serpentín}} \cdot \Delta T_{\text{ML}} \quad [\text{Ec. A2.22}]$$

donde:

Q_{global} = es el calor máximo que tiene que aportar el serpentín, que en este caso tendrá lugar durante la fase de calentamiento de la alimentación hasta los 50°C (ya calculado antes, $1,56 \cdot 10^6$ kJ).

$U_{\text{serpentín}}$ = es el coeficiente global de transmisión de calor, que se obtiene de la figura A2.7, tomando el valor medio del intervalo correspondiente, es decir, 26 BTU/(h·ft²·°F), que son 147,63 W/(m²·K).

ΔT_{ML} = incremento de temperatura media logarítmica.

$$\Delta T_{\text{ML}} = \frac{(T_v - T_{\text{fluido final}}) - (T_v - T_{\text{fluido inicial}})}{\ln\left(\frac{T_v - T_{\text{fluido final}}}{T_v - T_{\text{fluido inicial}}}\right)} \quad [\text{Ec. A2.23}]$$

U expresado en Btu/(h · ft² · °F)

Fluido en el interior del serpentín	Fluido en el exterior del serpentín	Material del serpentín	Agitación	<i>U</i>
Vapor de agua	Agua	Plomo	Agitado	70
Vapor de agua	Disoluciones de azúcar y melazas	Cobre	Ninguna	50-240
Vapor de agua	Disoluciones acuosas en ebullición			600
Agua fría	Intermedio de tinte orgánico diluido	Plomo	Turboagitador a 95 rpm	300
Agua fría	Agua tibia	Hierro forjado	Burbujas de aire en el agua que rodea al serpentín	150-300
Agua fría	Agua caliente	Plomo	Agitador de aspas a 0,40 rpm	90-360
Salmuera	Aminoácidos		30 rpm	100
Agua fría	25 por 100 de óxido a 60 °C	Hierro forjado	Agitado	20
Agua	Disolución acuosa	Plomo	Hélice de manguito a 500 rpm	250
Agua	NaOH al 8 por 100		22 rpm	155
Vapor de agua	Ácidos grasos	Cobre (torta)	Ninguna	96-100
Leche	Agua		Agitado	300
Agua fría	Agua caliente	Cobre	Ninguna	105-180
Agua a 60 °F	Disolución acuosa de azúcar al 50 por 100	Plomo	Ligera	50-60
Vapor e hidrógeno a 150 lb/in ² manométrica	Agua a 60 °F	Acero		100-165
Vapor 110-146 lb/in ² manométrica	Aceite vegetal	Acero	Ninguna	23-29
Vapor	Aceite vegetal	Acero	Diversas	39-72
Agua fría	Aceite vegetal	Acero	Diversas	29-72

Figura A2.7: *U para serpentines sumergidos en líquidos* [4].

Finalmente el área necesaria de intercambio para el serpentín será, calculada con ayuda de la ecuación A2.22:

$$A_{\text{serpentín}} = \frac{Q_{\text{global}}}{U_{\text{serpentín}} \cdot \Delta T_{\text{ML}}} = 122,70 \text{ m}^2$$

Y la longitud de tubo de acero de 2" necesaria para esta área:

$$L_{\text{serpentín}} = \frac{A}{2 \cdot \pi \cdot R} = 768,85 \text{ m} \quad [\text{Ec. A2.24}]$$

3.2. BE A LA ETAPA DE SAPONIFICACIÓN

Los reactores discontinuos de mezcla perfecta son siempre isotermos; sin embargo, por simplificar la nomenclatura, se entenderá como reactor discontinuo isotermo aquel en el que la temperatura también se mantiene constante a lo largo del tiempo. El diseño de este tipo de reactor requiere la resolución simultánea de los balances de materia y energía.

De manera análoga al balance de materia, el balance de calor para un reactor discontinuo puede expresarse como:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Energía generada} \\ \text{por reacción química} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{desaparecida} \end{array} \right\} \pm \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{transmitida} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{acumulada} \end{array} \right\} \quad [\text{Ec. A2.25}]$$

En la ecuación A2.25, el término de transmisión corresponde a la cantidad de calor aportada o retirada a través del área de intercambio disponible en el recipiente de reacción. Los términos de generación y desaparición corresponden al calor de reacción liberado, si la reacción es exotérmica como en nuestro caso, o absorbido, si la reacción fuese endotérmica. [7]. [8]

El fluido caliente se mantiene en agitación con el fin de que la temperatura sea uniforme en toda la masa del líquido, con ello se pretende eliminar la existencia de un gradiente de temperaturas desde el seno del fluido hasta la cara interna del recipiente, con lo que se puede suponer que no hay resistencia a la transmisión de calor por convección ahí. En este caso sólo se tendría en cuenta por conducción.

A continuación, se aplica el balance de calor al reactor discontinuo isotérmico, en el cual la temperatura inicial, T_0 , se mantiene constante a lo largo del tiempo y el

[7] Santamaría, J. (2002). "Ingeniería de reactores". Ediciones Síntesis. Madrid

[8] Levenspiel, O. (2002). "El omnilibro de los reactores químicos". Editorial Reverté. Barcelona.

término de acumulación se anula. Esto significa que todo el calor que se libera durante la reacción tiene que ser transmitido a través de la pared de intercambio:

$$(-\Delta H_r) \cdot (-r_A) \cdot V = U \cdot A_{TC} \cdot (T_0 - T_{mf}) \quad [\text{Ec. A2.26}]$$

Con ayuda de las ecuaciones A2.3 (balance de materia), y A2.26, obtenemos que:

$$T_{mf} = T_0 - \frac{(-\Delta H_r) \cdot N_{A0} \cdot dx_A}{U \cdot A_{TC}} \rightarrow T_{mf} = T_0 - \frac{(-\Delta H_r) \cdot N_{A0} \cdot x_A}{U \cdot A_{TC} \cdot t} \quad [\text{Ec. A2.27}]$$

siendo,

T_{mf} = temperatura del fluido refrigerante (K).

T_0 = temperatura de reacción (K).

$(-\Delta H_r)$ = entalpía de reacción (kJ/mol).

U = coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2 \cdot K$).

A_{TC} = área de transmisión de calor (m^2).

x_A = conversión de la reacción (95%).

t = tiempo de reacción (3,52 h).

El calor total generado por la reacción química se expresa como:

$$Q_T = (-\Delta H_r) \cdot N_{A0} \cdot x_A \quad [\text{Ec. A2.28}]$$

Calculando cada término para tener el valor del calor generado por la reacción:

- El número de moles de aceite se calcula con la cantidad a emplear en el lote y su peso molecular:

$$N_{A0} = \frac{m_{\text{aceite}}}{PM_{\text{aceite}}} = 2,92 \text{ kmoles de aceite} \quad [\text{Ec. A2.29}]$$

- La entalpía de reacción química se ha calculado mediante la energía de enlace de los reactivos y productos; cuantificando la energía necesaria o desprendida al formar o romper los enlaces en la molécula (método detallado en el anejo 3 de "Cinética de reacción química"):

$$(-\Delta H_r) = \sum_{i=1}^{nr} \text{enlaces rotos en los reactivos} - \sum_{j=1}^{np} \text{enlaces formados en los productos} \quad [\text{Ec. A2.30}]$$

$$(-\Delta H_r) = -694 \text{ kJ/mol}$$

- La conversión se estableció en el 95%: $x_A = 0,95$

Por tanto, con la ecuación A2.28 calculamos el calor generado durante la reacción química:

$$Q_T = -694 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \cdot 2920 \text{ (moles)} \cdot 0,95 = -1,93 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

ANEJO 3.

CINÉTICA DE

REACCIÓN QUÍMICA

ÍNDICE ANEJO 3.

CINÉTICA DE REACCIÓN QUÍMICA

1. INTRODUCCIÓN.....	144
2. REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN	145
2.1. CARACTERÍSTICAS	145
2.2. REACTIVOS Y PRODUCTOS	145
2.3. MECANISMO DE REACCIÓN	146
2.4. CÁLCULO DE PARÁMETROS CINÉTICOS	149
2.5. CÁLCULO DE LA ENTALPÍA DE REACCIÓN	151

1. INTRODUCCIÓN

El estudio cinético de una reacción química en cualquier proceso industrial, es muy importante, ya que, con él, se obtienen valores de la velocidad, el tiempo necesario para que transcurra, las cantidades de reactivos, que se necesitan al inicio de la reacción, y del producto/s, que se obtienen al final de la misma; y la conversión, etc., para llevar a cabo el proceso. Todos estos factores; además de la temperatura, la calidad de las materias primas de partida, el pH, etc., influyen en la productividad del proceso.

En el caso particular del presente proyecto, se utiliza un catalizador básico, el KOH, para que forme jabones mediante saponificación de los triglicéridos del aceite o bien por neutralización de los ácidos grasos libres presentes en el mismo. La presencia del agua en la reacción, favorece la saponificación, que es lo que interesa para este proceso, reduciendo el rendimiento de la transesterificación. Por tanto compiten las dos reacciones químicas, saponificación y transesterificación, lo que hace que las condiciones de la reacción sean tan importantes para favorecer una u otra ^[1].

Si se usara hidróxido potásico como catalizador, y en presencia de agua, las dos reacciones anteriores se escriben así:

- Saponificación de triglicéridos:

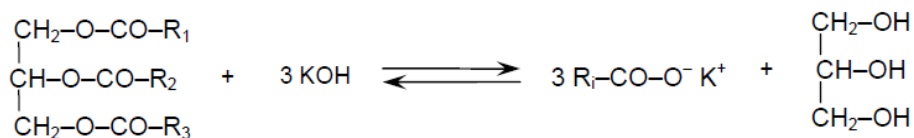
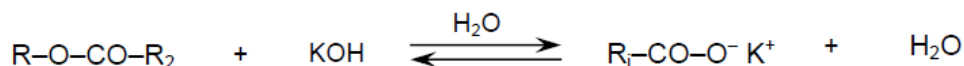


Figura A3.1: Reacción de saponificación con KOH^[1].

- Neutralización de ácidos grasos:



R: Cadena carbonada del ácido graso.

Figura A3.2: Reacción de neutralización con KOH^[1].

[1] Aliseda Montero, R. (2003). "PFC. Estudio de la transesterificación de aceite vegetal con metanol. Universidad Rey Juan Carlos.

2. REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN

2.1. CARACTERÍSTICAS

Si se escinde una grasa con un álcali, en lugar de con agua, se obtienen glicerina y una sal o jabón del metal alcalino con el ácido graso. Esta reacción se llama saponificación y es la base de la industria del jabón [2]. La ecuación general es:

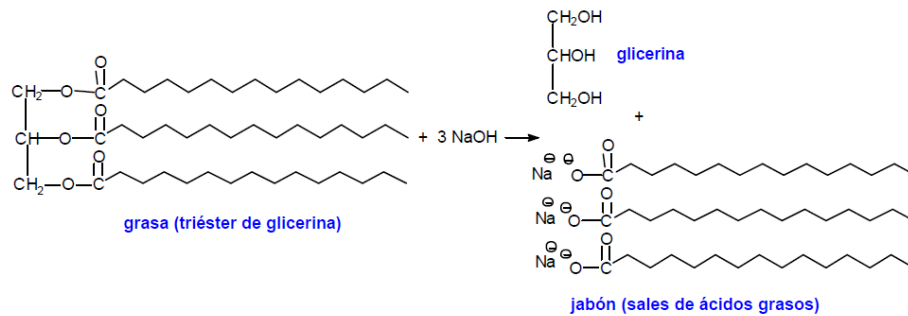
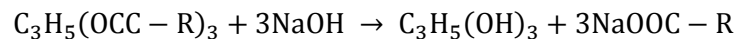


Figura A3.3: Reacción general de saponificación con sosa [2].

La expresión resumida de la reacción de la figura A3.3 es la siguiente:



2.2. REACTIVOS Y PRODUCTOS

La reacción del proceso estudiado en este proyecto es la que tiene lugar entre el AVU limpio, y la potasa (KOH), en presencia de agua. Siendo la reacción genérica:

$aA + bB \rightarrow cC + dD$, tenemos que:

Reactivos		Nº moles estequiometría	Fórmula	Pm (g/mol)	Nº moles calculados
Aceite (A)	Reactivo limitante	1	$C_{52}H_{100}(COO)_3$	856	1,17
Potasa (B)	Reactivo en exceso	3	KOH	56	3,51
Agua (I)	Inerte (catalizador)	-	H_2O	18	-
Productos					
Jabón (C)	Producto principal	3	$C_{49}H_{95}(COO)_3K_3$	932	3,51
Glicerina (D)	Producto secundario	1	$C_3H_5(OH)_3$	92	1,17
Agua (I)	Inerte (catalizador)	-	H_2O	18	-

Tabla A3.1: Componentes de la reacción de saponificación del proceso.

[2] Alton E. Bailey (1984). "Aceites y grasas industriales". Editorial Reverté.

[3] Balaguer y Primo, F. (1873). "Fabricación de jabones". Monografías industriales. Librería de Cuestas.

Y la reacción particular objeto de este estudio, se muestra en la siguiente página:

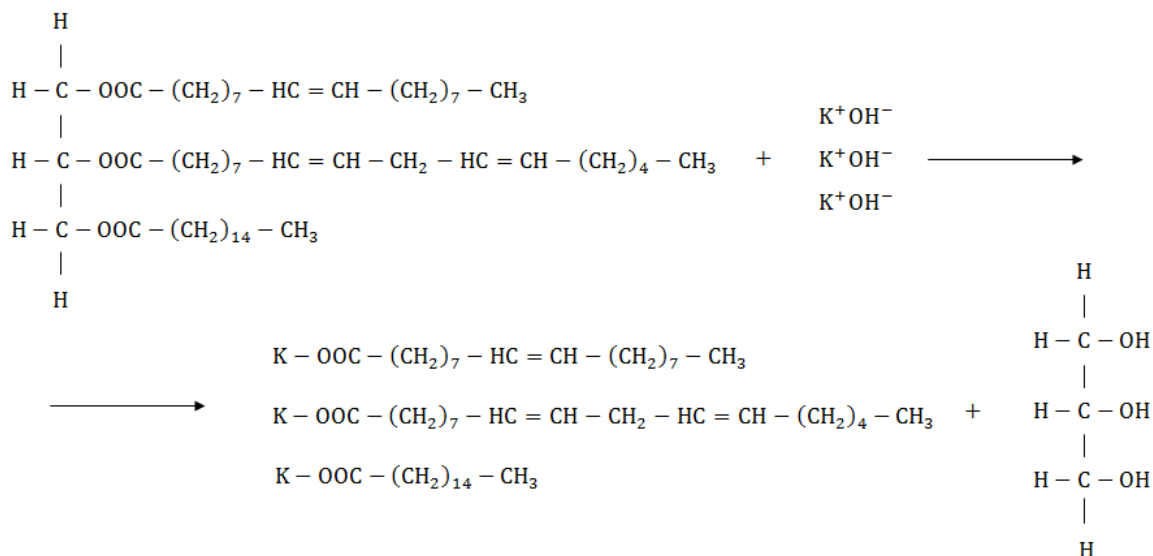


Figura A3.4: Reacción química de saponificación entre el triglicérido y la potasa.

- Reactivos:
 - El aceite como mezcla de oliva-girasol en proporción 40-60%, es decir, con sus ácidos grasos mayoritarios en cada caso. La molécula de aceite se considera un triglicérido mixto formado por los ácidos grasos oleico, linoleico y palmítico.
 - El álcali como potasa cáustica o hidróxido sódico (KOH).
- Productos:
 - El jabón formado, sal del triglicérido inicial (figura A3.4), es una mezcla de oleato potásico, linolato potásico y palmitato potásico.
 - La glicerina.

La información completa acerca de las materias primas de partida seleccionadas, está justificada en el punto 4.6. "Alternativa seleccionada", de la Memoria justificativa del Documento nº1 "Memoria", del presente proyecto.

2.3. MECANISMO DE REACCIÓN [4]

A los compuestos que contienen el grupo carboxilo (abreviado -COOH o CO₂H) se les denomina ácidos carboxílicos. El grupo carboxilo es el origen de una serie de compuestos orgánicos entre los que se encuentran los haluros de ácido (RCOCl), los anhídridos de ácido (RCOOCOR), los ésteres (RCOOR'), y las amidas (RCONH₂).

[4] Jiménez, J.J. (2010). "Apuntes de Química Orgánica". Universidad de Almería

El grupo carboxilo, $-\text{COOH}$, es formalmente una combinación de un grupo carbonilo y de un hidroxilo.

Un ácido carboxílico se puede disociar en agua para dar un protón y un ión carboxilato. La disociación de un ácido o un alcohol implica, en ambos casos, la ruptura heterolítica de un enlace O-H, pero cuando la disociación se produce sobre el ácido carboxílico se genera un ión carboxilato con la carga negativa repartida por igual sobre dos átomos de oxígeno.

Es posible sintetizar ésteres mediante catálisis ácido o básica:

- Reacción de esterificación de Fischer:

Los ácidos carboxílicos reaccionan con alcoholes, en presencia de un catalizador ácido, formando ésteres y agua.

Estas reacciones se efectúan bajo catálisis ácida, puesto que en ausencia de ácidos fuertes proceden de forma muy lenta.

Para desplazar el equilibrio hacia la formación del éster, se añade un exceso del ácido carboxílico o del alcohol. También se puede aumentar la proporción de éster en el equilibrio eliminando el agua formada en la reacción.

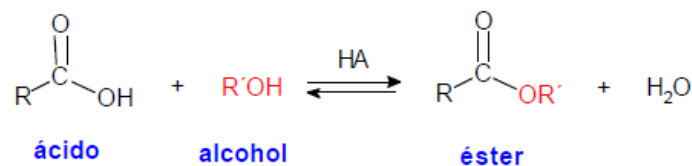


Figura A3.5: Reacción general de esterificación de Fischer [4].

- Saponificación:

Los ésteres se pueden hidrolizar no sólo en medio ácido, sino también en medio básico. El proceso de hidrólisis básica de los ésteres se denomina saponificación.

Esta reacción, al contrario que el proceso de esterificación de Fischer, es irreversible. El ión hidróxido ataca al carbonilo del éster formando un intermedio tetraédrico. Cuando se regenera el grupo carbonilo se produce la eliminación del ión alcóxido y se forma un ácido carboxílico. Una rápida transferencia del protón forma el carboxilato y el alcohol. Este último paso es muy exotérmico y desplaza los dos equilibrios anteriores del proceso de saponificación hacia su terminación, haciendo que el proceso sea irreversible.

El mecanismo de reacción de saponificación de ésteres puede verse gráficamente en la figura A3.6:

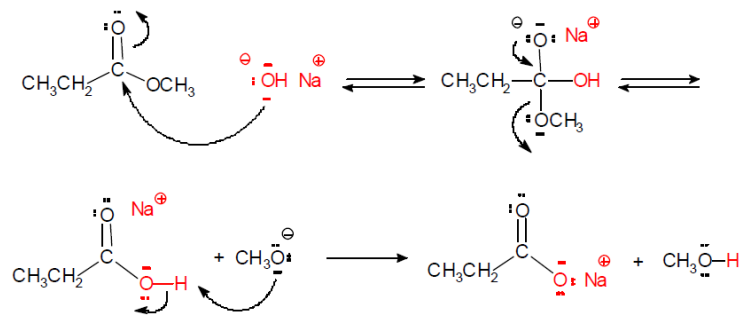


Figura A3.6: Mecanismo de reacción de saponificación [4].

En el segundo paso del mecanismo de saponificación se produce la pérdida de ión metóxido, a diferencia de lo que se conoce acerca de las reacciones habituales de SN2, que las bases fuertes como el ión hidróxido o los alcóxidos no son buenos grupos salientes porque son muy básicos.

En la reacción de saponificación, esto es posible ya que el enlace con el grupo saliente se rompe en el segundo paso del mecanismo, que es muy exotérmico y por tanto el estado de transición se asemejará al reactivo y no al producto de la reacción (Postulado de Hammond). En este estado de transición el enlace con el grupo saliente apenas se ha comenzado a romper. En general una base fuerte puede funcionar como grupo saliente si se elimina en un paso muy exotérmico, convirtiendo un intermedio inestable y con carga negativa, en una molécula estable.

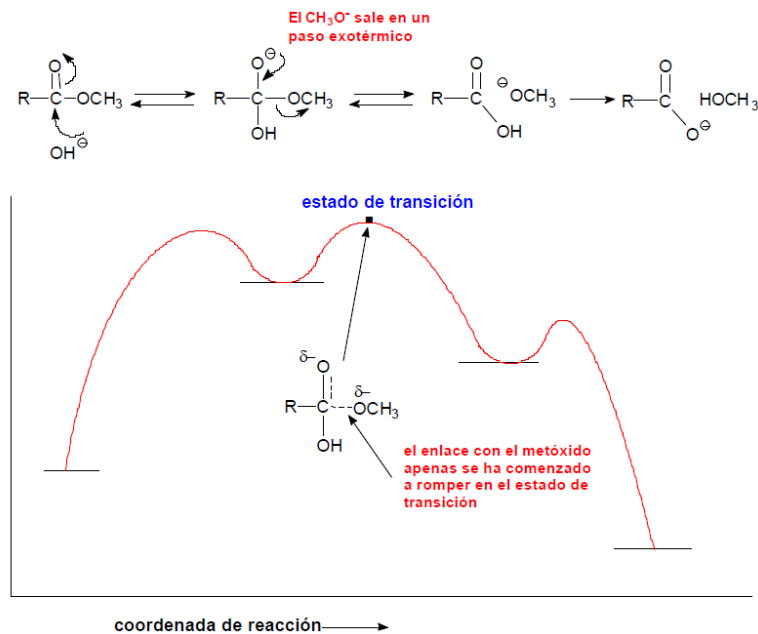


Figura A3.7: Representación de la coordenada de reacción del mecanismo de saponificación [4].

2.4. CÁLCULO DE PARÁMETROS CINÉTICOS

La cinética química es el estudio de las velocidades de las reacciones químicas y de los mecanismos mediante los que tienen lugar. Introduce la variable de tiempo en el estudio de las reacciones químicas y el camino que siguen los reactivos para convertirse en productos.

Por esta razón es tan importante obtener los parámetros cinéticos característicos de la reacción química.

La ecuación de velocidad general de una reacción química, ya fue descrita en el anejo 2 de “BM y BE”, y es la siguiente:

$$(-r_A) = k \cdot c_A^\alpha \cdot c_B^\beta \quad [\text{Ec. A2.6}]$$

con,

k = constante cinética (L/mol·min).

α y β = órdenes de reacción.

Si $\alpha=\beta=1$, la reacción será bimolecular y la velocidad será de segundo orden:

$$(-r_A) = k \cdot c_A \cdot c_B$$

Si uno de los reactivos se encuentra en exceso, para que haya una saponificación completa, se tiene que ($c_{B0} \gg c_{A0}$). En el caso que se describe en este proyecto habrá un exceso de potasa respecto al aceite, que es el reactivo limitante y por tanto el que controla la reacción.

Como el reactivo B está en exceso, se podrá englobar la constante cinética como una constante aparente según la ecuación A3.1:

$$k' = c_{B0} \cdot k \quad [\text{Ec. A3.1}]$$

Y por tanto la velocidad de reacción se ve simplificada a:

$$(-r_A) = k' \cdot c_A \quad [\text{Ec. A3.2}]$$

Se trata de una ecuación de pseudo primer orden, con k' , la constante aparente (L/mol·min).

Combinado la ecuación de diseño para un RDMP (Ec. A2.3 del anejo 2 de “BM y BE”) con la anterior ecuación, se obtiene que el tiempo de reacción es:

$$t = \frac{1}{k'} \cdot \frac{1}{(1 - x_A)} \quad [\text{Ec. A2.7}]$$

Se han tomado de varios artículos consultados las siguientes características para la reacción de saponificación:

Parámetro	Valor	Artículo	Aplicación al caso de estudio
Orden de reacción	Primer orden, respecto al KOH	[5]	Cinética de pseudo-primer orden
Tiempo de reacción	30 min	[5]	3,52 h
Constante cinética aparente, k'	0,0696 min ⁻¹	[5]	0,0142 min ⁻¹
$[\text{KOH}]_0$	2,58 M	[5]	3,505
Tiempo de saponificación (aceite girasol)	4 h	[6]	-
Grado de conversión de saponificación, x_A	0,95	[6]	0,95
Temperatura óptima	90°C	[6]	90-10°C
Relación NaOH/aceite (moles)	2:1	[6]	3:1
$[\text{NaOH}]_0$	30%	[6]	-

Tabla A3.2: Parámetros óptimos para el proceso de saponificación.

La constante cinética aparente tiene un valor de $k' = 1,43 \cdot 10^{-2}$ (min⁻¹), mientras que la constante cinética real (con la Ec. A3.1) tiene un valor de $k = 4,07 \cdot 10^{-3}$ (L/mol·min).

Por tanto el tiempo de la reacción de saponificación se calcula mediante la ecuación A2.7:

$$t = \frac{1}{1,42 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1}{(1 - 0,95)} = 210,97 \text{ min} \cong 3,52 \text{ h}$$

Y la velocidad de reacción (con la Ec. A3.2):

$$(-r_A) = 8,29 \cdot 10^{-4} \text{ (mol/L} \cdot \text{min)}$$

Las condiciones de reacción que afectan en mayor medida a la saponificación son la temperatura y la concentración del catalizador. Por tanto, para aumentar el rendimiento de la misma, habrá que modificarlas para conseguir la conversión requerida.

Temperaturas menores (25°C, T ambiente) reducen los costes de calefacción y disminuyen la cantidad de jabones formados por saponificación, promoviendo la transesterificación. Por tanto, si se quiere favorecer una saponificación más efectiva,

[5] Asiagwu, A.K., Omuku, P.E., Ilabor, A.C., Omeoga, C.A. (2013). "Kinetics of saponification of Treulia Africana oil using a locally sourced alkaline". Vol.5. Biosciences, biotechnology research Asia.

[6] Deng Qi, Wang Qunhui, Wang Qi, Huang Qifei, Yin Pinghe (2009). "Study on saponification technology of waste edible oil". Vol 32. Bioinformatics and Biomedical Engineering.

se tendrán que aplicar temperaturas mayores, a partir de 50°C. Por eso se ha seleccionado el rango de 90-100 °C [1].

2.5. CÁLCULO DE LA ENTALPÍA DE REACCIÓN

El cálculo de la entalpía de reacción se hace a partir de la energía de enlace de los componentes individuales de la reacción (figura A3.5). Una reacción química consiste en un nuevo reagrupamiento de los átomos de los reactivos para formar los productos. Si se conocen las energías de estos enlaces, se pueden calcular fácilmente la entalpía de la reacción.

La energía de enlace es la energía necesaria para romper un mol de dichos enlaces. A partir de las energías medias de enlace pueden calcularse aproximadamente las entalpías de reacción entre sustancias. En efecto, teniendo en cuenta que para la ruptura de enlaces hay que suministrar energía, mientras que al formarse nuevos enlaces se desprende energía, se deduce que:

$$\Delta H = \sum (\text{Energía de enlaces rotos}) - \sum (\text{Energía de enlaces formados}) \quad [\text{Ec. A3.3}]$$

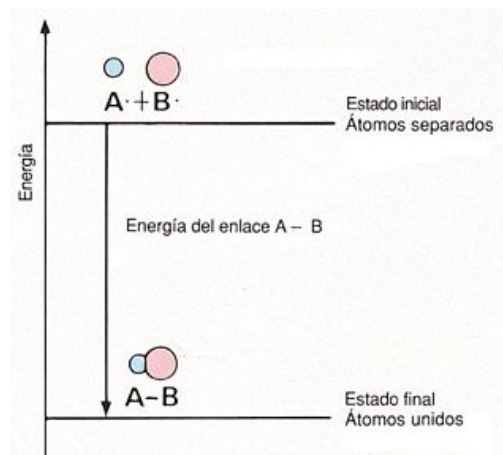


Figura A3.8: Representación de los estados de energía de una reacción [7].

De las tablas de entalpías de enlace entre elementos se han tomado los valores de los enlaces que están presentes en la reacción de saponificación (tabla A3.3) para el cálculo de la entalpía total.

Enlace	Energía de enlace, ΔH (kJ/mol)	Nº enlaces formados (reactivos)	Nº enlaces rotos (productos)
C-H	415	100	100
C-C	347	46	48
C=C	610	3	3
C-O	352	6	6
C=O	743	3	3
O-H	460	3	3

Tabla A3.3: Entalpías de enlace de varios enlaces entre elementos.

Para calcular la entalpía de la reacción tomamos la energía individual de los enlaces, consultando la tabla A3.3, y aplicando la fórmula A3.3.

El valor que se obtiene es:

$$\Delta H = \sum (\text{Energía de enlaces rotos}) - \sum (\text{Energía de enlaces formados}) = 437.543 - 438.237 = -694 \text{ kJ/mol}$$

De forma neta se han formado dos enlaces C-C y del resto de enlaces se han roto y formado la misma cantidad.

Del valor obtenido de entalpía de reacción, se ve que la reacción es muy exotérmica. Pese a ello, habrá que calentar la mezcla igualmente para alcanzar los 90-100°C con un vapor, para que la saponificación sea total.

ANEJO 4. DISEÑO DE EQUIPOS

ÍNDICE ANEJO 4.

DISEÑO DE EQUIPOS

1. INTRODUCCIÓN	156
1.1. DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN	156
1.1.1. Cálculo de espesores	158
1.1.2. Normativas de seguridad para el diseño	159
2. SECCIÓN I. OPERACIONES DE TRATAMIENTO Y PURIFICACIÓN DE LOS AVUS	163
2.1. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AVUs	163
2.2. CONTROL DE CALIDAD DEL AVU A NIVEL DE LABORATORIO	163
2.3. DESBASTE. Balsa con filtro de reja	164
2.4. SEDIMENTADORES. CALENTAMIENTO MEDIANTE SERPENTÍN .	165
2.4.1. Introducción	165
2.4.2. Cálculo de las dimensiones características	169
2.4.3. Cálculo de espesores	172
2.4.4. Diseño del serpentín	174
2.4.5. Accesorios	175
2.5. CENTRÍFUGA DE CÁMARA Y DISCOS	176
2.6. TANQUES DE ALMACENAMIENTO	180
2.7. CALDERA	181
2.8. RECIPIENTES PARA SUBPRODUCTOS	182
3. SECCIÓN II. REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN	183
3.1. REACTOR QUÍMICO	183
3.1.1. Introducción	183
3.1.2. Cálculo de las dimensiones características	183

3.1.3. Cálculo de espesores.....	186
3.1.4. Diseño del sistema de agitación	189
3.1.5. Camisa de calefacción. balance de energía	194
3.2. MEZCLADOR DE LA DISOLUCIÓN DE KOH.....	198
3.3. UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA	201
3.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	201
3.4.1. Tanque de jabón base	201
3.4.2. Tanque de glicerina.....	203
4. SECCIÓN III. OPERACIONES DE TERMINACIÓN Y	
ACONDICIONAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL	205
4.1. MEZCLADOR AUXILIAR	205
4.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE JABÓN LÍQUIDO	207
4.3. ENVASADORA, TAPONADORA Y ETIQUETADORA	208

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se describen todos los equipos que intervienen en el proceso objeto de estudio de esta memoria, desde la recepción del aceite usado hasta su conversión a jabón líquido y posterior distribución. Se clasificaron los equipos utilizados en el proceso atendiendo a la sección de la instalación a la que pertenecen:

- *Sección I. Operaciones de tratamiento y purificación de los AVUS:*
 - Recepción y almacenamiento
 - Control de calidad a nivel de laboratorio
 - Desbaste
 - Sedimentación y calentamiento
 - Centrifugación
 - Almacenamiento de aceite
 - Almacenamiento de subproductos
- *Sección II. Reacción de saponificación:*
 - Reactor químico tipo tanque agitado encamisado
 - Mezclador de disolución de KOH
 - Unidad de ósmosis
 - Almacenamiento de jabón y fase glicerina
- *Sección III. Operaciones de acabado y acondicionamiento del producto final:*
 - Mezclador auxiliar
 - Envasado, taponado y etiquetado
 - Empaquetado y distribución

1.1. DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN

Denominamos recipientes a presión a aquellos que están constituidos por una envolvente, normalmente metálica, capaz de contener un fluido, líquido o gaseoso, en condiciones de presión y temperatura distintas a las del medio ambiente. La forma

más común de estos recipientes es cilíndrica por su fácil construcción y por requerir menores espesores que otras formas geométricas para resistir una misma presión. Por tanto en este proyecto se han diseñado los recipientes con geometría cilíndrica ^{[1], [2]}.

El diseño y cálculo mecánico de los elementos que forman parte de un recipiente consiste, básicamente, en la determinación de sus espesores, tomando como datos de partida:

- La forma del equipo y sus dimensiones.
- El material utilizado.
- Las condiciones de presión y temperatura.
- Las cargas debidas al viento (para torres altas sobre todo).
- El peso específico del fluido.
- La reglamentación, norma o código que debe cumplir el diseño del recipiente.

El diseño de los distintos equipos que engloban el proceso, consiste en calcular las dimensiones de cada uno de los elementos que los constituyen y los espesores que deben soportar por las condiciones de presión y temperatura establecidas a los que se verán sometidos.

Principalmente se deben de estimar las dimensiones y los espesores de los distintos elementos de los recipientes, que son los siguientes:

- Carcasa o envolvente
- Fondos o cabezas

Además se seleccionarán los dispositivos de apoyo y sujeción de los recipientes, conexiones entre ellos y las conducciones de tuberías por donde circulan los fluidos, accesorios interiores y exteriores si fueran necesarios, etc.

Cuando un recipiente contiene un fluido a una presión superior a la externa se pueden desarrollar en las paredes dos tipos de esfuerzos: longitudinales y tangenciales. Ambos son perpendiculares entre sí. Los recipientes deben de tener un espesor de pared capaz de soportar, sin deformación, la presión a la que se ven sometidos o la tensión a la que trabaja el material que debe de ser inferior a la máxima tensión admisible del mismo.

[1] Sánchez Mirón, A.; Robles Medina, A. (2009). "Apuntes de la asignatura de diseño de equipos e instalaciones".

Universidad de Almería

[2] <http://www.estrucplan.com.ar>

Por lo que se tienen que valorar los esfuerzos, se eligen los máximos y se calcula el espesor debido a ellos. En el caso que nos ocupa, recipientes de paredes delgadas sometidos a presión interna, los esfuerzos que controlan el proceso siempre son los tangenciales, ya que los longitudinales son prácticamente inapreciables, por ello nos vamos a ahorrar el cálculo.

El procedimiento de cálculo será el que se detalla a continuación:

1. Cálculo de las dimensiones características del recipiente o equipo.
2. Cálculo del espesor teórico debido a los esfuerzos tangenciales.
3. Selección del espesor comercial inmediatamente superior al calculado teóricamente.

1.1.1. Cálculo de espesores

Para el cálculo del espesor se va a seguir el código ASME sección VIII división 1 [3], donde se indican los métodos de diseño y cálculo, así como los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas que deben satisfacer los recipientes a presión.

Espesor mínimo de la carcasa:

La ecuación para el cálculo del espesor mínimo (t) asociado a esfuerzos tangenciales para la carcasa cilíndrica es:

$$t = \frac{PR_i}{\sigma_t E_s - 0,6P} + c \quad [\text{Ec. A4.1}]$$

donde:

t = espesor de la envolvente (in)

P = presión de diseño mínima (psi)

R_i = radio interno de la carcasa (in)

σ_t = esfuerzo máximo admisible (psi). Depende del tipo de material y de la temperatura, entre otros factores

E_s = eficiencia de soldadura (adimensional). Depende del material utilizado

c = sobreespesor por corrosión del material (in).

[3] Código ASME: <https://www.asme.org/>

Espesor mínimo de cabezas o fondos:

El fondo y la tapa del recipiente suelen ser cabezales de tipo elíptico, semielíptico o cónico, contruidos con el mismo material que la carcasa y soldados a tope con la carcasa cilíndrica mediante doble cordón de soldadura. Las ecuaciones que nos permiten calcular los espesores mínimos de los mismos son las que siguen (tabla A4.1):

Elipsoidal	Semi-elipsoidal 2:1	Cónica
$t = \frac{PD_i}{2\sigma_t E_s - 0,2P} + c$ [Ec. A4.2]	$t = \frac{PR_i}{\sigma_t E_s - 0,6P} + c$ [Ec. A4.3]	Esfuerzo tangencial
		$t = \frac{PD_i}{2\cos\alpha(\sigma_t E_s - 0,64P)} + c$ [Ec. A4.4]

Tabla A4.1: Ecuaciones para calcular espesores de cabeza y fondo de recipientes según geometría [3].

1.1.2. Normativas de seguridad para el diseño

La normativa seleccionada para el diseño de los equipos del presente proyecto, es sin duda la más usada a nivel mundial, el código ASME. En su sección VIII, división 1, en la que se desarrolla el diseño y construcción de equipos sometidos a vacío, a baja, media y alta presión [3].

A continuación se resumen algunas de las características que tienen que cumplir los equipos para cumplir la normativa ASME.

a) Presión de diseño (P):

Debe ser en todo caso mayor a la máxima de operación o servicio. Su valor se puede fijar como el mayor valor de entre los siguientes:

- $P \geq 1,1 \cdot P_{\text{máx}}$ de operación (kg / cm²) [Ec. A4.5]
- $P \geq P_{\text{máx}}$ de operación + 1 (kg/ cm²) [Ec. A4.6]
- $P \geq 3,5$ (kg /cm²) [Ec. A4.7]

Cuando se desconozca la máxima presión de operación, como es nuestro caso, la presión de diseño vendrá dada por la siguiente tabla:

Operación	Diseño
0-1,5	3,5 kg/cm ² manométrico
1,6-13,5	2 kg/cm ² + P _{op}
13,6-20	115% de P _{op}
20,1-25	3 kg/cm ² + P _{op}
≥ 25,1	112% de P _{op}

Tabla A4.2: Presiones de diseño (*P_{op}: presión de operación normal) [3].

b) Temperatura de diseño o de proyecto (T):

Al igual que en el apartado anterior, debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, y es habitual (a no ser que se especifique otro valor en las hojas de datos del recipiente) adoptar como temperatura de diseño el valor de:

$$T = T_{\text{operación máxima}} + 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

[Ec. A4.8]

c) Espesor mínimo de pared ($t_{\text{mín}}$):

$$t_{\text{mín}} = 2,5 + c \text{ (mm)}$$

para aceros inoxidables

[Ec. A4.9]

$$t_{\text{mín}} = 5 + c \text{ (mm)}$$

para aceros al carbono

[Ec. A4.10]

d) Sobrespesor de corrosión (c):

Este valor es función del tipo de material elegido para la construcción del recipiente, y se consulta en tablas.

Metal	c (mm)
Acero al carbono	1,5 - 3
Acero inoxidable	0,8 - 1,5

Tabla A4.3: Valores de sobrespesor de corrosión para aceros comunes.

Extracto de ASME Sección VIII. División 1. [3]

e) Tensión máxima admisible (σ_t):

Los recipientes a presión se calculan con unos espesores de pared capaces de soportar sin deformación la presión a la que se verán sometidos. Para los materiales ASTM-ASME, el código ASME VIII, división 1, contiene unas tablas que muestran las tensiones máximas admisibles para cada material a las diferentes temperaturas.

Metal	Nombre técnico	σ_t (psi) (20°F-650°F)
Acero al carbono	SA-516. Grado 55	13800
Acero al carbono	SA-285. Grado C	13800
Acero inoxidable	SS-304	18750
Acero inoxidable	SS-316	18800

Tabla A4.4: Valores de tensión máxima admisible para aceros comunes

(en rangos de temperatura entre -29°C y 343°C). Extracto de ASME Sección VIII. División 1. [3]

f) Eficiencia de la soldadura (E_s):

La unión entre chapas se realiza, normalmente, por medio de la soldadura, y ésta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que puede producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material, y por tanto una zona debilitada. Teniendo en cuenta este hecho, en el cálculo de los recipientes se introduce una reducción en la tensión máxima admisible multiplicando ésta por un coeficiente denominado eficiencia de la soldadura (E_s), cuyo valor varía según las normas o códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella.

Dibujo	Descripción de la junta	Grado de examen		
		Radiografía completa	Examen por puntos o zonas	No examinada por puntos o zonas
a	Juntas por ensamble con soldadura doble o con medios que permitan obtener la misma calidad de metal soldado a ambos lados de la junta	1.00	0.85	0.70
b	Junta por ensamble de soldadura simple, con banda de respaldo en su lugar	0.90	0.80	0.65
c	Junta por ensamble de soldadura simple, sin banda de respaldo. Sólo se permite para algunas juntas perimetrales	0.90	0.80	0.60

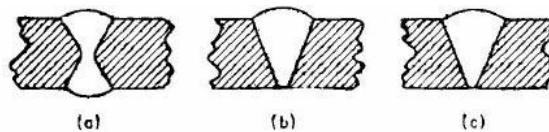


Tabla A4.5: Valores de eficiencia de soldadura para aceros comunes.

Extracto de ASME Sección VIII. División 1. [3]

g) Selección de materiales:

En la etapa de diseño de recipientes a presión, la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia, para lo cual necesitamos definir una secuencia lógica para la selección de estos, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Vida estimada de la planta.
- Requerimientos de proceso y operación.
- Duración estimada del material.
- Disponibilidad y tiempo de entrega del material.
- Coste del material.
- Coste de mantenimiento e inspección.

h) Factor F:

En los recipientes de almacenaje verticales sometidos a presión interna, es posible determinar las dimensiones óptimas para el diseño siempre y cuando se conozca el material del que va estar construido. Para ello es necesario determinar el factor F mediante la siguiente ecuación y ayudándonos del gráfico correspondiente:

$$F = \frac{P}{\sigma_t \cdot E_s \cdot c} \quad [\text{Ec. A4.11}]$$

siendo:

F = factor de diseño (in).

P = presión de operación (psi).

σ_t = tensión máxima admisible según material (psi).

E_s = eficiencia de soldadura (adimensional).

c = espesor de corrosión (in).

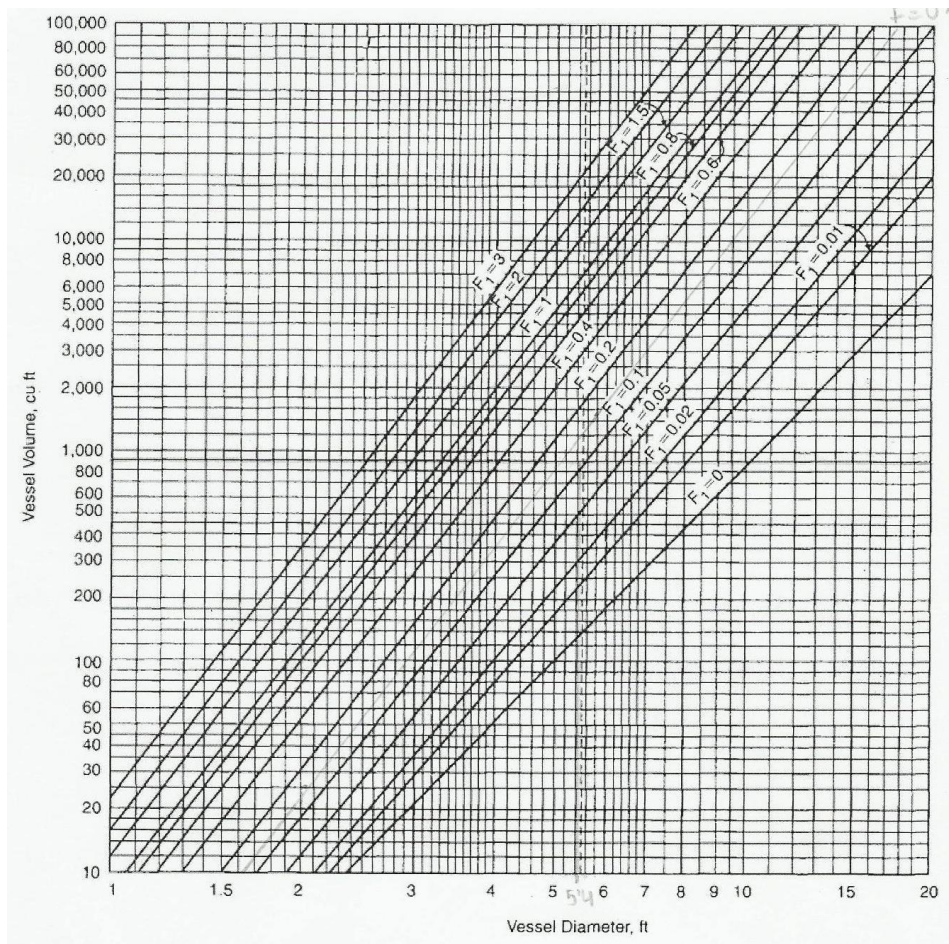


Figura A4. 1: Gráfico para la determinación del diseño óptimo del recipiente [3].

2. SECCIÓN I. OPERACIONES DE TRATAMIENTO Y PURIFICACIÓN DE LOS AVUs

2.1. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AVUs

En la instalación, como se ha comentado en la memoria descriptiva (secciones 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3 del punto 3.2 Proceso de pretratamiento de los AVUs), se recepcionará la materia prima en los siguientes formatos: en camiones cisterna de capacidad de entre 15 y 20 m³ o en bidones de 25 ó 50 L de capacidad.

Las instalaciones industriales manufactureras están provistas de departamentos especiales de recepción de materia prima. La zona destinada a ello suele estar en el exterior de la instalación, conectada con el interior de la misma mediante puertas extensibles o persianas.

El primer paso en la recepción de los aceites usados es el pesaje de los camiones cisterna en una báscula puente. Una vez que se ha registrado el peso bruto de la cisterna, el aceite se descarga temporalmente mediante una manguera que tiene el propio camión y una bomba externa y va a parar a la balsa de desbaste para proceder a la primera etapa del proceso de pretratamiento de los AVUs.

El siguiente paso es tomar una muestra para analizarla en el laboratorio de control de calidad.



Figura A3.2: Camión cisterna.

2.2. CONTROL DE CALIDAD DEL AVU A NIVEL DE LABORATORIO

Una vez que ha llegado la materia prima y antes de bombearla a la balsa filtro, hay que realizarle un control de calidad en el laboratorio. Para ello se realizan una serie de pruebas sensoriales, físicas y químicas.

2.3. DESBASTE. BALSA CON FILTRO DE REJA

Se reciben 20.000 L de AVU cada 4 días, que se filtrarán, sedimentarán y posteriormente centrifugarán en lotes más pequeños. Se consumen unos 5000 L de aceite al día en la instalación, repartidos en dos turnos de trabajo, por lo que cada lote será de 2500 L de aceite.

El primer paso del proceso consiste en verter los AVUs en un recipiente rectangular, a modo de balsa, provisto con una reja de desbaste para que retenga los sólidos de mayor tamaño que pudieran ir contenidos en ellos. Esta reja está compuesta por barrotes con distinta luz de malla que actúan a modo de filtro, reteniendo los sólidos más voluminosos y dejando pasar el líquido, que es lo que nos interesa. Los filtros-reja están colocados dentro del tanque con una pendiente de entre 30 y 45° respecto a la horizontal, de manera que los sólidos se deslizan hacia la parte más baja de la misma. De esta manera los sólidos se acumulan en ésta y es más sencilla su limpieza. La rejilla debe ser limpiada periódicamente de forma manual o automática para el correcto paso del aceite al fondo del recipiente. En este caso, como el proceso de descarga del tanque es discontinuo, se opta por la limpieza manual diaria de la reja, una vez finalizada la operación de descarga del tanque.

Se trata, por tanto, de una tanque tipo balsa, abierto y rectangular, construido en poliéster reforzado con fibra de vidrio, anclado al suelo.

Para el cálculo de las dimensiones características hay que tener en cuenta el volumen que ocupa el líquido de cada lote. En base a él se calcula el volumen necesario del recipiente.

El volumen máximo teórico de cada lote se puede obtener de la suma de cada componente individual de la mezcla:

$$V_L (\text{m}^3) = \sum_{i=1}^n V_i = V_{\text{aceite}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{sólidos}} + V_{\text{ceras}} = \quad [\text{Ec. A4.12}]$$

$$= 20 \left(\text{m}^3 \text{ aceite} / \text{cisterna} \right)$$

Como norma de seguridad general para todo el diseño de los equipos, se ha considerado un sobredimensionamiento del 20% [1], por tanto, el volumen de trabajo:

[Ec. A4.13]

$$V_w(m^3) = 1,20 \cdot V_L = 24 m^3 \text{ aceite}$$

El resto de dimensiones del tanque tipo balsa y de los filtros son las siguientes:

Descripción. Tanque rectangular tipo balsa, abierto, de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Rejas de polipropileno	
Capacidad (m³)	24 m ³
Dimensiones (m)	3,5 m x 3,5 m x 2 m
Espesor (mm)	0,71 (estándar)
Número de rejas por filtro	2
Luz de malla de las rejas (cm)	3 cm (superior) y 0,1 cm (inferior)
Número de filtros	5
Dimensión de los filtros (m)	3,5 m x 2 m
Número de rejas totales	10
Ángulo fondo tanque y filtro	30-45°

Tabla A4.6: Características del equipo de desbaste de AVUs.

[1] Sánchez Mirón, A.; Robles Medina, A. (2009). "Diseño de equipos e instalaciones". Universidad de Almería

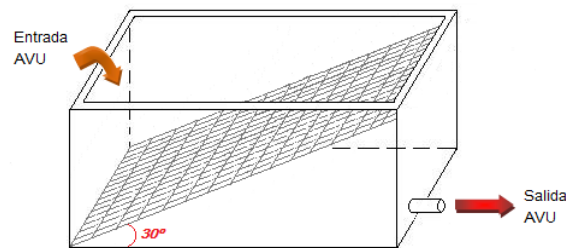


Figura A3.3: Aspecto teórico del tanque balsa.

2.4. SEDIMENTADORES. CALENTAMIENTO MEDIANTE SERPENTÍN

2.4.1. Introducción

La instalación va a disponer de dos tanques de sedimentación, cuya función es la clarificación de los aceites. En los dos tanques se almacena el aceite usado que procede de la etapa de desbaste anterior. Aquí permanecerán el tiempo necesario para que sedimenten los sólidos más gruesos y la mayor parte de la fase acuosa.

Se trata de tanques abiertos, verticales y cilíndricos, construidos en acero al carbono SA-285-C, y soportados por perfiles IPN del mismo material en forma de T (figura A3.4), con fondo cónico adaptado para purgas y que operan a presión atmosférica [4], [5].

[4] Productos de acero inoxidable: <http://www.alinox.es/alinoxweb/inoxidables/entrar>

[5] Proveedor de perfiles IPN: <http://www.celsa.com/Productos.mvc/PerfilesComercial>



Figura A3.4: Perfil IPN común en forma de T doble [5].

Para favorecer la operación de sedimentación, estos tanques van a disponer de un serpentín de calentamiento para elevar la temperatura del aceite y evaporar gran parte de la fase acuosa. Estarán situados en un lateral de los mismos para facilitar la descarga de las purgas (fase acuosa y sólidos disueltos) que se realiza por la parte inferior de los tanques.

El aceite, que se extrae de la parte superior de los tanques de sedimentación, quedará almacenado temporalmente en los tanques de almacenamiento de aceites, los cuales tendrán unas dimensiones apropiadas a la capacidad de la planta y trabajarán a presión atmosférica.

El aceite recepcionado contendrá un 1% de sólidos, un 7% de agua y un 0,5% de ceras, siendo el resto aceite [6]. La carga máxima de entrada de aceite será de 20.000 L, que se almacenan en uno de los dos sedimentadores de la planta de proceso y cada dos días, al llegar otro camión, los siguientes se almacenan en el segundo tanque.

No se disponen de datos de velocidad de sedimentación frente a concentración para los AVUs, por lo que se ha necesitado realizar unos ensayos de sedimentación intermitente a nivel de laboratorio basándonos en la teoría de Kynch-Roberts. Una vez obtenidos los resultados de v frente a C , se obtiene el área máxima de sedimentación. La sedimentación es una operación unitaria que consiste en la separación por la acción de la gravedad de las fases sólida y líquida de una suspensión diluida para obtener una suspensión concentrada y un líquido claro [7], [8]. En nuestro caso el tipo de sedimentación que va a experimentar el AVU es libre, ya que la suspensión contiene baja concentración de sólidos (1%).

La interacción entre partículas puede considerarse despreciable, por lo que sedimentan a su velocidad de caída libre en el fluido. Realmente queremos separar dos fases líquidas inmiscibles entre sí, que además contienen disueltas partículas sólidas. El aceite, que es el líquido menos denso, quedará en la parte superior del sedimentador con, inevitablemente, algunas partículas de pequeño tamaño disueltas en ella, y en la parte inferior del tanque quedará el agua que es más densa, con el grueso de partículas de mayor tamaño. Debemos esperar el tiempo suficiente para que sedimenten la mayor parte de las partículas sólidas y el agua, para purificar bien el aceite en esta fase [7], [8].

La ecuación de sedimentación libre es la siguiente:

[Ec. A4.14]

$$\tau = \frac{V}{L_0}$$

donde,

τ = tiempo de residencia de las partículas (h)

V_t = volumen del tanque sedimentador (m³). Calculado en el punto 2.4.2 de este anejo con la ecuación A4.19.

L_0 = caudal de líquido (m³/h).

$$\tau = \frac{V_t}{L_0} = \frac{25,64 \text{ (m}^3\text{)}}{0,83 \text{ (m}^3\text{/h)}} = 30,77 \text{ h} = 1,29 \text{ días}$$

De los ensayos de laboratorio realizados se han obtenido los siguientes resultados:

- Curva que representa cómo se comporta la altura de la interfase conforme pasa el tiempo:

[6] P. Felizardo, M. J. Neiva Correia, I. Raposo, J. F. Mendes, R. Berkemeier, J. Moura Bordado (2006). "Production of biodiesel from waste frying oils". Waste Management 26, 487-494.

[7] R. H. Perry, D. W. Green. (1999). "Perry's Chemical Engineers' Handbook". Editorial McGraw-Hill.

[8] W.L. McCabe, J. C. Smith, P. Harriott. (1998). "Operaciones unitarias en Ingeniería Química". 4ª Edición. Editorial McGraw-Hill.

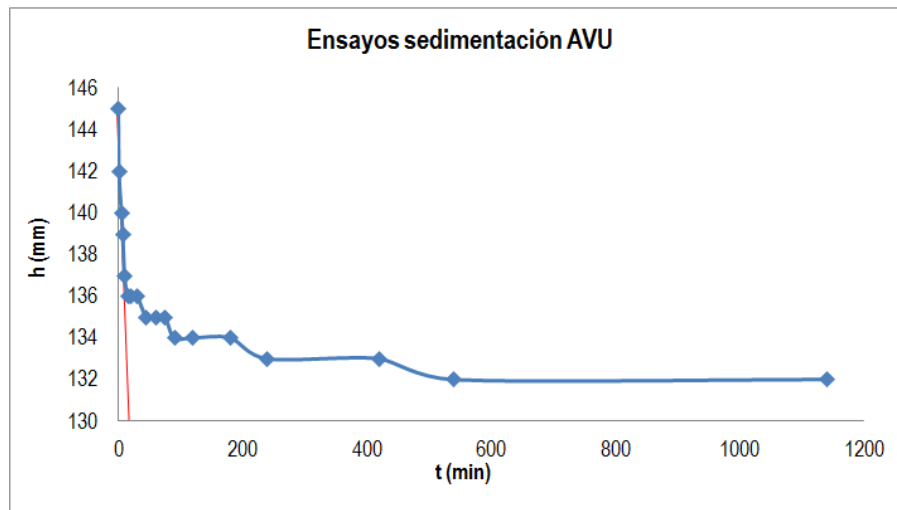


Figura A3.5: Gráfica de altura frente a tiempo de sedimentación.

La línea roja es la tangente al punto inicial, donde la altura de la interfase es máxima (h_0). La ecuación que se ajusta a esta recta es la siguiente: $h = -11,6t + 145$.

- De la curva de altura de la interfase respecto al tiempo de sedimentación (figura A3.5), además de la tangente en el punto inicial, se obtienen el resto de rectas tangentes a cada punto, que nos servirán para obtener la velocidad de sedimentación y las concentraciones de agua y sólidos en cada instante. Se han tomado solamente los primeros puntos ya que a medida que transcurre el tiempo de sedimentación, la altura de la interfase se mantiene prácticamente constante, por tanto los primeros resultados son los más significativos.

$$h = -v_{\text{sed}} \cdot t + \frac{h_0 \cdot C_0}{C} \quad [\text{Ec. A3.15}]$$

donde,

h = altura en el instante t (mm).

h_0 = altura inicial (mm).

v_{sed} = velocidad de sedimentación (mm/min)

t = tiempo de sedimentación (min).

C_0 = concentración inicial de sedimento (%). Se puede calcular por separado la concentración de agua y la de sólidos, ya que ambos se consideran sedimentos en este caso, por ser la capa oleosa la que nos interesa.

C = concentración de sedimento en cada instante de tiempo t (%).

[7] R. H. Perry, D. W. Green. (1999). "Perry's Chemical Engineers' Handbook". Editorial McGraw-Hill.

[8] W.L. McCabe, J. C. Smith, P. Harriott. (1998). "Operaciones unitarias en Ingeniería Química". 4ª Edición. Editorial McGraw-Hill

t (min)	h (mm)	v _{sed} (m/s)	A _c (m ²)	C _{agua} (%)	C _{sólid.} (%)
0	145	1,93E-04	1,20	7,00	1,00
12,5	0				
0	140,5	6,24E-05	3,71	7,22	1,03
37,5	0				
0	139	3,31E-05	6,99	7,30	1,04
70	0				
0	136,75	1,14E-05	20,31	7,42	1,06
200	0				
0	136	7,08E-06	32,68	7,46	1,07
320	0				
0	135	4,50E-06	51,44	7,55	1,08
500	0				

Tabla A3.7: Cálculos para cada punto de las rectas tangentes de la curva de sedimentación.

Las dos primeras columnas de la tabla A3.7 son los pares de datos (t, h) conocidos, obtenidos de la figura A3.5. La velocidad de sedimentación (v_{sed}) se calcula dividiendo la altura por el tiempo (en m/s). Y el área mínima requerida de sedimentación, A_c (m²), se calcula con la ecuación A3.16:

$$A_c = \frac{L_0}{v} \quad [\text{Ec. A3.16}]$$

De los valores de área mínima calculados en la tabla A3.7, se selecciona el mayor de ellos para el diseño de los tanques de sedimentación. De este modo se asegura que ha transcurrido el tiempo necesario para la sedimentación de la mayor parte de particular sólidas y del agua. Por tanto el área de referencia para aceptar el diseño de los tanques es:

$$A_c = 51,44 \text{ m}^2$$

2.4.2. Cálculo de las dimensiones características

Consideraciones iniciales:

- Suponemos el recipiente con geometría cilíndrica.
- El fondo cónico tiene un volumen suficiente para albergar toda la cantidad de mermas que puedan sedimentar para la máxima carga posible de aceite.
- Relación de esbeltez (H/D) igual a 1/3, ya que para sedimentadores la teoría afirma que las relaciones más adecuadas están en el intervalo de 1/3 a 1/5 [7].

La mezcla a sedimentar tiene las siguientes características:

Componente	% peso	m (kg/día)	ρ (kg/m ³)	V_L (m ³)
Aceite	91,50%	18.300	925	19,78
Agua	7%	1.400	1.000	1,40
Sólidos	1%	200	1.500	0,13
Ceras	0,50%	100	-	-

Tabla A3.8: Características de la mezcla a sedimentar.

En primer lugar, se estima el volumen necesario que debe tener el tanque, por lo que se consideran los volúmenes de las fases mayoritarias por separado (aceite, agua y sólidos; las ceras se desprecian), es decir el volumen de líquido máximo que tiene que albergar el recipiente.

Para ello se calculan los volúmenes individuales de cada componente:

$$V_i = \frac{m_i}{\rho_i} \quad [\text{Ec. A4.17}]$$

donde i representa cada uno de los componentes mayoritarios de la mezcla.

$$V_L = \sum_{i=1}^n V_i \quad [\text{Ec. A4.18}]$$

Volumen máximo de líquido, $V_L = 21,37 \text{ (m}^3\text{)}$.

Se sobredimensiona el tanque un 20%, para facilitar la operación y por motivos de seguridad, de manera que el volumen resultante para cada tanque se calcula:

$$V_w = 1,20 \cdot V_L = 25,64 \text{ m}^3 \quad [\text{Ec. A4.19}]$$

Ahora se procede a calcular las distintas partes del recipiente a presión (como se describió en el apartado 1.1.1 de este anejo):

Partiendo de un cilindro, haciendo uso del volumen del mismo como la capacidad máxima de líquido V_L , calculado con la Ec. A3.18; y de la altura H , calculada con la relación de esbeltez supuesta (H/D). Despejando el diámetro interno de la carcasa, D :

Volumen de la carcasa cilíndrica:
$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi}{4} D^2 H \quad [\text{Ec. A4.20}]$$

[Ec. A4.21]

Relación de esbeltez:
$$\frac{H}{D} = \frac{1}{3}$$

Diámetro de la carcasa cilíndrica:
$$D = \sqrt[3]{\frac{12V}{\pi}} = 4,61 \text{ m} \quad [\text{Ec. A4.22}]$$

Altura de la carcasa cilíndrica:
$$H = 1,54 \text{ m} \quad [\text{Ec. A4.23}]$$

Pero la altura h no será la altura total del tanque, ya que partimos de un cilindro y hay que tener en cuenta la altura perteneciente al fondo cónico, por lo tanto habrá que calcular la altura del cono y luego sumar las dos para obtener la altura real del tanque completo.

Para calcular la altura del fondo cónico, consideraremos un sobredimensionamiento del 20%, como en el resto de los equipos de proceso, y además que la capacidad del fondo cónico será suficiente para albergar el volumen de mermas sedimentadas, formadas por la mezcla de 1.400 kg de agua y 200 kg de sólidos (tabla A3.8):

$$V_{\text{fondo cónico}} = V_{\text{mermas}} = 1,58 \text{ m}^3 \cdot 1,20 = 1,90 \text{ m}^3 \quad [\text{Ec. A4.24}]$$

$$V_{\text{fondo cónico}} = \frac{\pi}{12} D^2 h_{\text{cono}} \quad [\text{Ec. A4.25}]$$

$$h_{\text{cono}} = \frac{12 \cdot V_{\text{fondo cónico}}}{\pi D^2} = 0,34 \text{ m}$$

El ángulo de inclinación α de la parte cónica respecto a la horizontal se puede deducir mediante una relación trigonométrica, como podemos ver en la figura A3.6:

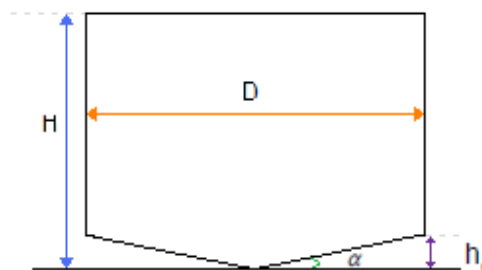


Figura A3.6: Representación de la relación trigonométrica.

$$\text{tg } \alpha = \frac{h_{\text{cono}}}{R} = \frac{2h_{\text{cono}}}{D} \quad [\text{Ec. A4.26}]$$

$$\alpha = 8,43^\circ$$

Se procede a continuación a corregir la altura de la carcasa cilíndrica incluyendo el fondo cónico:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{fondo cónico}} =$$

$$= \frac{\pi D^2 H_{\text{cilindro}}}{4} + \frac{\pi D^2 h_{\text{cono}}}{12} = \frac{3\pi D^2 H + \pi D^2 h_{\text{cono}}}{12} \quad [\text{Ec. A4.27}]$$

$$V_{\text{total}} = 27,54 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{total}} = \frac{12V_{\text{total}} - \pi D^2 h_{\text{cono}}}{3\pi D^2} = 1,88 \text{ m}$$

Relación de esbeltez real: $H/D = 0,41$

Las dimensiones finales del tanque se resumen en la siguiente tabla:

$V_{\text{total}} \text{ (m}^3\text{)}$	$D \text{ (m)}$	$H_{\text{cil}} \text{ (m)}$	$h_c \text{ (m)}$	$H_{\text{total}} \text{ (m)}$	$\alpha \text{ (}^\circ\text{)}$	Material
27,54	4,61	1,54	0,34	1,88	8,43	SA-285-GradoC

Tabla A4.9: Dimensiones de los tanques de sedimentación.

2.4.3. Cálculo de espesores

Para el cálculo de espesores se aplican las fórmulas descritas en la introducción de este anejo, según el código ASME. El material usado para los sedimentadores es acero al carbono, por lo que el sobreespesor de corrosión es de 1,5 mm (tabla A3.3).

La virola tendrá costuras tipo 1, es decir, juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies; si se considera que la junta será examinada por zonas, el valor de la eficiencia de soldadura puede obtenerse de la tabla A3.3 del presente anejo, obteniendo un valor de $E_s = 0,85$.

El fondo cónico es un cabezal sin costuras, unido a la virola cilíndrica por junta tipo 1, examinada por zonas.

Los datos que nos permiten el cálculo de espesores son los siguientes:

$$P = \text{Presión de diseño mínima} = 3,5 \text{ kg/cm}^2 = 49,78 \text{ psi}$$

$$R = \text{Radio interno} = 2,305 \text{ m} = 90,67 \text{ in}$$

$$\sigma_t = \text{Esfuerzo máximo admisible} = 13.800 \text{ psi (según la tabla A3.4)}$$

$$E_s = \text{Eficiencia de soldadura} = 0,85$$

$$c = \text{Sobrespesor de corrosión} = 1,5 \text{ mm} = 0,0591 \text{ in}$$

$$T_{op} = \text{temperatura de operación} = 45-50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{dis} = \text{temperatura de diseño} = 65-70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 90 - 8,43 = 81,58^\circ$$

- *Espesor de la carcasa cilíndrica:*

Según los esfuerzos tangenciales (con la Ec. A4.1):

$$t = \frac{PR_i}{SE - 0,6P} + c = 0,46 \text{ in} = 11,63 \text{ mm}$$

Controlan los esfuerzos tangenciales, ya que son los mayores, por lo que el espesor seleccionado para la carcasa será el asociado a los mismos.

Comprobamos ahora que este espesor de la envolvente cumple las normas especificadas en el código ASME, sección VII, división 1, según el cual seleccionaremos como espesor mínimo de la envolvente, el mayor valor de los siguientes [3]. [9]:

D_i recipiente (m)	t_{min} virolas (mm)
<0,61	4,8
0,61-1,07	6,4
1,07-1,52	8,1
1,52-1,98	9,7
>1,98	11,1

Tabla A3.9: Espesor mínimo de las virolas ferrosas en función del diámetro del recipiente [9].

[3] Código ASME: <https://www.asme.org/>

[9] Megeysey, Eugene F. (1989). "Manual de recipientes a presión". Editorial Limusa S.A.

En nuestro caso el diámetro del recipiente es 4,61 m, por lo que le corresponde 11,1 mm de espesor. El espesor comercial de chapa que adquiriremos del mercado, será el inmediatamente superior al obtenido, o sea 12 mm.

- *Espesor del fondo cónico:*

Según los esfuerzos tangenciales (con la Ec. A4.4):

$$t = \frac{PD_i}{2\cos\alpha(SE - 0,64P)} + c = 2,79 \text{ in} = 70,82 \text{ mm}$$

De nuevo, controlan los esfuerzos tangenciales que son los mayores. La chapa comercial que adquiriremos será la inmediatamente superior, 71 mm.

2.4.4. Diseño del serpentín

2.4.4.1. Introducción

El serpentín de tubos proporciona uno de los medios más eficientes y baratos para obtener una superficie aceptable para la transferencia de calor. Generalmente se construyen doblando longitudes variables de tubería para darles forma de espiral. Los serpentines que se colocarán en los sedimentadores serán de tipo espiral simple, tal y como se muestra en figura A4.9:

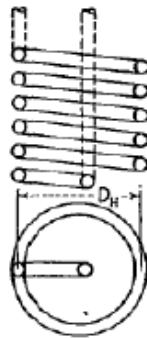


Figura A4.7: Serpentín tipo espiral simple.

Con esta configuración se consigue que el serpentín ocupe el menor espacio posible a lo largo de la sección horizontal del tanque, para no dificultar la sedimentación de las partículas. Dicho serpentín irá colocado en un lateral de la carcasa cilíndrica, a una altura de medio metro aproximadamente, de la transición troncocónica. Por el interior del serpentín circulará vapor saturado a 2 bares y una temperatura de 393,15 K (unos 120°C).

Calculo del vapor requerido para calentamiento

El cálculo de las dimensiones del serpentín y del requerimiento energético del mismo se ha calculado en el punto 3.1 “BE a la etapa de sedimentación del AVU”, del anejo 2 de “Balances de materia y energía”. Como resumen del dicho cálculo se tiene que:

Cantidad de calor a aportar por el vapor saturado a 2 bares y 120°C a los tanques:

$$Q_{\text{global}} = 1,56 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

Área del serpentín necesaria para garantizar la correcta transmisión de calor:

$$A_{\text{serpentín}} = 122,70 \text{ m}^2$$

Y la longitud de tubo de acero inoxidable de 2” correspondiente a esa área:

$$L_{\text{serpentín}} = 768,85 \text{ m}$$

2.4.5. Accesorios

Para completar los elementos que conforman los tanques de sedimentación en su totalidad, tendrán además:

- Entrada en la parte superior de la carcasa cilíndrica para la conexión roscada con tubería de descarga de aceite.
- Conexión para la salida de aceite, situada a la altura de la unión entre la sección cilíndrica y la sección cónica. Esta salida sirve para evacuar de una manera eficaz el aceite, evitando la presencia de agua y sólidos sedimentados, que quedan en la parte cónica del tanque (sección de purgas).
- Salida en el fondo del tanque para evacuar los sedimentos (purgas).
- Bomba para la descarga del aceite al tanque de almacenamiento de AVU sedimentado.
- Sensor de temperatura para seguirla en todo momento durante la sedimentación.
- Sensor de nivel.
- 4 soportes constituidos por perfiles IPN 100.

Perfu	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Pe so p kp/ m
	h m	b m	e r m	e ₁ m	r ₁ m	h ₁ m	u mm	A cm ²	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	I _a cm ⁶	w m	a m	e ₂ mm	
IPN 80	80	42	3,9	5,9	2,3	59	304	7,58	11,4	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	0,93	87,5	22	-	4,43	5,95
IPN 100	100	50	4,5	6,8	2,7	75	370	10,6	19,9	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	1,72	268	28	-	5,05	8,32
IPN 120	120	58	5,1	7,7	3,1	92	439	14,2	31,8	328	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23	2,92	685	32	-	5,67	11,2
IPN 140	140	66	5,7	8,6	3,4	109	502	18,3	47,7	573	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	4,66	1540	34	11	6,29	14,4
IPN 160	160	74	6,3	9,5	3,8	125	575	22,8	68,0	935	117	6,40	54,7	14,8	1,55	7,08	3138	40	11	6,91	17,9
IPN 180	180	82	6,9	10,4	4,1	142	640	27,9	93,4	1450	161	7,20	81,3	19,8	1,71	10,3	5924	44	13	7,53	21,9

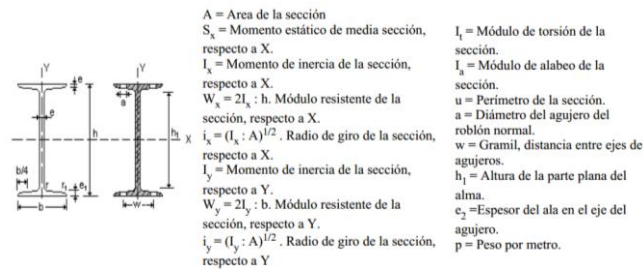


Figura A4.8: Características de perfiles IPN [5].

- Escalera de acceso.
- Boca de hombre de 20 in de diámetro, situada en la zona inferior del tanque.

2.5. CENTRÍFUGA DE CÁMARA Y DISCOS

Una vez que se ha sedimentado, se bombea el AVU a un tanque de almacenamiento cerrado (ver apartado siguiente 2.6 “Tanques de almacenamiento”), para su posterior centrifugación en pequeños lotes. Con ello, se pretende reducir el contenido en agua y sólidos que estén aún presentes lo máximo posible.

El caudal máximo que permite la centrífuga de discos seleccionada es de 15 m³/h. Cada lote será de unos 2500 kg de AVU, de los cuales obtendremos 2478,5 kg purificados, con un 99% de aceite y tan sólo un 1% de agua. Se retienen entre el 70-90% de los sólidos y del agua contenidos en la mezcla de aceite.

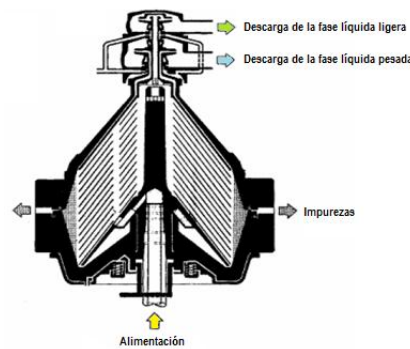


Figura A4.9: Aspecto general del funcionamiento de una centrífuga de discos [10].

La mezcla que se va a centrifugar y que proviene del tanque de AVU sedimentado, tiene las siguientes características:

Componente	% peso	m (kg/día)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m·s)
Aceite	98,15%	2.454	898	$3,50 \cdot 10^{-2}$
Agua	1,52%	38	998	$6,00 \cdot 10^{-4}$
Sólidos	0,33%	8	1500	-

Tabla A4.12: Características de la mezcla a centrifugar.

Para el cálculo de los parámetros característicos de la centrífuga, se necesitan obtener los siguientes datos:

- Sedimentación de sólidos en régimen laminar (Nº de Reynolds):

$$Re = \frac{d_p \cdot v \cdot \rho_L}{\mu_L} \quad [\text{Ec. A4.28}]$$

Donde,

Re = número de Reynolds, que caracteriza el movimiento y régimen de flujo del fluido (adimensional).

d_p = diámetro de partículas sólidas (m). Se ha medido en el laboratorio una muestra de la mezcla una vez sedimentada y se ha visto al microscopio un diámetro medio de $1,38 \mu\text{m}$.

v = velocidad característica del fluido (m/s).

ρ_L = densidad del fluido (kg/m³). Es la media correspondiente a los 2 líquidos de la mezcla (agua y aceite), teniendo en cuenta sus porcentajes. (896,59 kg/m³).

μ_L = viscosidad dinámica del fluido (kg/m·s). Es la media correspondiente a los 2 líquidos de la mezcla (agua y aceite), teniendo en cuenta sus porcentajes ($3,44 \cdot 10^{-2}$ kg/m·s).

$$Re = 9,95 \cdot 10^{-5} \quad (\text{régimen laminar})$$

[5] <http://www.celsa.com/>

[10] <http://www.flottweg.com/spain/>

- Velocidad asociada al campo gravitatorio de las partículas a sedimentar:

$$v_g = \frac{d_p^2 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad [\text{Ec. A4.29}]$$

Donde,

v_g = velocidad asociada al campo gravitatorio (m/s).

ρ_s = densidad de las partículas sólidas (kg/m³).

g = aceleración de la gravedad (m/s²). Su valor es 9,81 m/s².

μ = viscosidad dinámica media del fluido (kg/m·s).

$$v_g = 1,82 \cdot 10^{-8} \text{ (m/s)}$$

- Velocidad asociada al campo centrífugo que experimentan las partículas:

$$V_\omega = \frac{d_p^2 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot \omega^2 \cdot r}{18 \cdot \mu} \quad [\text{Ec. A4.30}]$$

Donde,

v_ω = velocidad asociada al campo centrífugo (rad/s).

ω = velocidad angular (rad).

r = distancia radial (m).

$$v_\omega = 2,76 \cdot 10^{-3} \text{ (rad/s)}$$

Como se conocen las especificaciones técnicas de la centrífuga comercial que se va a adquirir del proveedor (se detallan en la tabla A3.13), se pueden calcular el resto de incógnitas:

Descripción. Centrífuga de discos modelo DA 45-01-026 WestFalia, separa 3 fases, con bomba centrífuga para descarga de la fase líquida, con partes en acero inoxidable, etc.	
Caudal máximo (m³/h)	15
Velocidad máxima (rpm)	5.400
Número de discos	9-15
Potencia del motor (kW)	30
Peso aproximado (kg)	1.600
Peso del tambor rotatorio o cesta (kg)	290
Diámetro (mm)	600-800

Tabla A4.13: Especificaciones técnicas de la centrífuga DA 45-01-026-WF [13].

- Característica de la centrífuga, Σ . Se trata de un área característica de cada tipo de centrífuga y se utiliza para efectuar comparaciones y escalamiento de equipos. Para una centrífuga de discos:

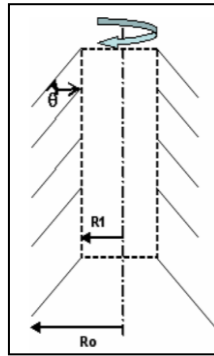


Figura A4.10: Esquema de una centrífuga de discos [12].

Se calcula con la siguiente expresión [11], [12]:

$$Q = v_g \cdot \frac{2\pi \cdot (N-1) \cdot \omega^2 \cdot (R_0^3 - R_1^3) \cdot \cot\theta}{3g} = v_g \cdot \Sigma \quad [\text{Ec. A4.31}]$$

Donde,

N = número de discos.

R_0 = distancia radial del eje de giro a la pared del tambor (m).

R_1 = distancia radial del eje de giro a la superficie del líquido (m).

θ = ángulo de inclinación respecto a la vertical (rad).

$$\Sigma = 42.266,65 \text{ m}^2$$

En la tabla A3.13 se muestran algunos valores típicos de sigma en función del diámetro del tambor. Teniendo en cuenta el último par de datos, se ve que la tendencia es creciente, por lo que como en este caso el diámetro es mayor, lo será también el valor de sigma; por tanto, el dato obtenido de sigma lo damos por válido.

Tipo	Diámetro del tambor (mm)	Valor de Σ aproximado ($\cdot 10^3 \text{ m}^2$)
Centrífuga de discos de descarga intermitente	356	12-15
	457	20-22
	610	35-38

Tabla A4.14: Valores típicos de Σ [7].

El resto de datos que caracterizan el diseño de la centrífuga son:

[11] J. M. Coulson, J. F. Richardson, J.R. Backhurst (1981). "Operaciones básicas en ingeniería química". Ed. Reverté

[12] A. Robles (2009). "Bioseparaciones". Universidad de Almería

[13] <http://www.westfalia-separator.com/>

$W_{\text{máx}}$	5400	rpm	565,49	rad/s
D_0	930	mm		
$Q_{\text{máx}}$	15	m ³ /h	$4,17 \cdot 10^{-3}$	m ³ /s
R_0	465	mm		
Q_{real}	2,77	m ³ /h	$7,7 \cdot 10^{-4}$	m ³ /s
R_1	240	mm		
θ	36,70	°		
N	12	discos		

Tabla A4.15: Valores calculados para la centrifuga de discos.

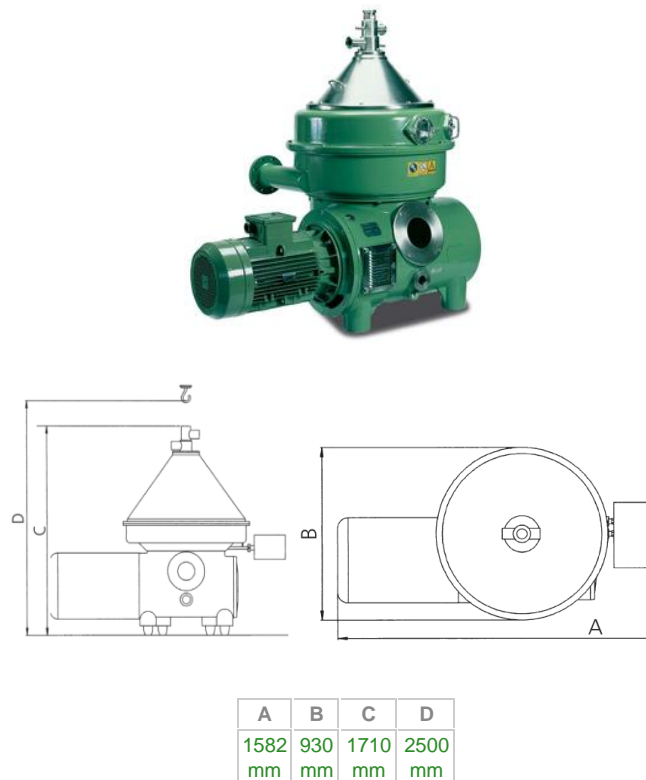


Figura A4.11: Fotografía y dimensiones de la centrifuga DA 45-01-026-WF^[13].

2.6. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Después de cada operación física de purificación del aceite, el mismo se almacena en un tanque a la espera del siguiente paso en el proceso. Por tanto, habrá un tanque de almacenamiento para el AVU una vez que ha sido sedimentado, a la salida de los sedimentadores, y otro tanque una vez que se ha centrifugado, después

de la centrífuga de discos. Los dos tanques de almacenamiento tienen similares dimensiones y volumen que tienen que albergar ambos es prácticamente el mismo.

Se procede al cálculo como en los apartados anteriores. Las características del tanque de sedimentación son las que sigue:

Descripción. Tanque cilíndrico, vertical, cerrado, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, con patas y anclado al suelo	
Diámetro interior (m)	2,49
Altura (m)	4,57
Capacidad total (m³)	24,35
Relación de esbeltez (h/D)	1,83
Espesor carcasa (mm)	6,98
Espesor fondos (mm)	6,97
Material	SA-285-Grado C

Tabla A4. 16: Dimensiones calculadas para el tanque de almacenamiento de AVU sedimentado.

Del mismo modo, se procede al cálculo para el tanque de almacenamiento de AVU centrifugado:

Descripción. Tanque cilíndrico, vertical, cerrado, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, con patas y anclado al suelo	
Diámetro interior (m)	2,49
Altura (m)	4,57
Capacidad total (m³)	24,35
Relación de esbeltez (h/D)	1,83
Espesor carcasa (mm)	6,98
Espesor fondos (mm)	6,97
Material	SA-285-Grado C

Tabla A4. 17: Dimensiones calculadas para el tanque de almacenamiento de AVU centrifugado.

2.7. CALDERA

Se deben calentar los aceites a unos 45-50 °C para mejorar la separación entre sólidos, agua y aceite. Para alcanzar dicha temperatura se emplea vapor de calefacción procedente de una caldera situada en la instalación. El vapor saturado circulará a través de un serpentín instalado en la parte lateral de dichos tanques (los requerimientos energéticos se calcularon en el apartado 2.4.4).

Para la producción de vapor se instalará una caldera pirotubular de tipo horizontal, de dos pasos de humo y de hogar totalmente refrigerado por agua. Presenta un acabado en chapa de acero inoxidable. Posee puertas abisagradas que permiten una apertura total del circuito de humos sin desmontar el quemador, y atornilladas en el

fondo trasero. Está calorifugada con fibra cerámica. Su rendimiento mínimo es del 90%, con bajas emisiones de NOx.

Las características técnicas más destacadas de la caldera seleccionada son:

Descripción. Caldera marca Servitec, modelo NGC 500	
Potencia térmica útil (kW)	350 kW (300.000 kcal/h)
Producción de vapor (kg/h)	500
Consumo de gasóleo medio (L/h)	45
Presión máxima de operación (bar)	12
Dimensiones:	
Ancho (m)	2,3
Largo (m)	1,7
Alto (m)	1,7
Diámetro de la chimenea (m)	2,5
Peso (kg)	2.300
Combustible	Cualquier combustible del mercado, líquido o gaseoso (gasoil, gas natural, etc.)

Tabla A4.18: Características de la caldera seleccionada.



Figura A4.13: Aspecto de la caldera.

2.8. RECIPIENTES PARA SUBPRODUCTOS

También a la salida de cada operación de purificación, hay unos depósitos a modo de contenedores para los sólidos que se separan en las operaciones de desbaste, sedimentación y centrifugación. Habrá tres, cada uno con una capacidad de entre 1 y 2 m³, y estarán situados al lado de la balsa de desbaste, de los sedimentadores y de la centrífuga de discos. Un vez que se recolecte la cantidad suficiente se envían a tratamiento de residuos sólidos urbanos.

3. SECCIÓN II. REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN

3.1. REACTOR QUÍMICO

3.1.1. Introducción

El reactor es la unidad principal de la instalación y en él se llevará a cabo la reacción química de saponificación de los ácidos grasos libres presentes en el aceite con ayuda de un álcali.

Como ya se estableció en la memoria descriptiva, se trata de un reactor tipo tanque agitado (RDMP) que opera en discontinuo, es decir, con un régimen de flujo no estacionario o por lotes.

3.1.2. Cálculo de las dimensiones características

El tamaño del reactor está determinado principalmente por las siguientes premisas:

- Debe permitir operar por lotes.
- Su volumen debe ajustarse a las cantidades necesarias de reactivos y a la producción diaria de la instalación, y a su vez al tiempo exigido para la conversión fijada de la reacción de saponificación.

Para obtener el tiempo de residencia, necesario para alcanzar una determinada conversión, se necesita aplicar la ecuación de diseño deducida en la memoria descriptiva, así como los parámetros cinéticos óptimos del proceso, los cuales han sido analizados y seleccionados en el anejo 3 “Cinética de reacción química” del presente proyecto. En el citado anejo se deduce que la cinética de la reacción se asemeja a un pseudoprimer orden, con lo cual puede sustituirse la expresión cinética en la ecuación de diseño, quedando de la siguiente forma:

Ecuación de diseño para un RDMP (Ecs. A2.3 y A2.7 del anejo 2 “BM y BE”):

$$(-r_A) \cdot V = -\frac{dN_A}{dt} \quad [\text{Ec. A2.3}]$$

$$\int_0^t dt = -\int_{N_{A0}}^{N_A} \frac{N_{A0} \cdot dx_A}{(-r_A) \cdot V} = C_{A0} \cdot \int_{x_{A0}}^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)} \rightarrow t = \frac{1}{k'} \cdot \frac{1}{(1-x_A)} \quad [\text{Ec. A2.7}]$$

Los datos necesarios para el cálculo de las dimensiones características del reactor químico, se tienen en cuenta en las tablas A4.19 y A4.20:

Característica	Valor
Conversión, x_A (%)	95
Orden de reacción individual, α y β	1
Constante cinética aparente, k' (min^{-1})	$1,42 \cdot 10^{-2}$
Tiempo de saponificación (h)	3,52
Temperatura óptima de saponificación ($^{\circ}\text{C}$)	90
Concentración de álcali en la mezcla inicial (%)	25-30

Tabla A4.19: Datos característicos necesarios para el dimensionamiento del RDMP.

El volumen del reactor se calculará teniendo en cuenta el volumen de mezcla reaccionante total. Las cantidades necesarias de los mismos para cada lote, se muestran en la tabla A4.20:

Mezcla reaccionante	% peso	m (kg/lote)	$\rho_{30-40^{\circ}\text{C}}$ (kg/m^3)	V_i (m^3)
Aceite	55,0%	2.500	898	2,78
Potasa	10,4%	474	2044	0,23
Agua	31,3%	1.423	998	1,43
Sal	3,3%	150	1988	0,08
total	100%	4.547	1085	4,52

Tabla A4.20: Datos característicos necesarios para el dimensionamiento del RDMP.

Como en los anteriores apartados, se calcula el volumen de líquido de cada componente con la ecuación A4.17 (V_i en la tabla A4.20), el volumen total de mezcla líquida con la ecuación A4.18, y por último el volumen de trabajo, que es el volumen de diseño del reactor, con la A4.13:

$$V_L = 4,52 \text{ m}^3$$

$$V_w = V_r = 5,65 \text{ m}^3$$

Una vez establecido el volumen del reactor, ya se pueden calcular el resto de dimensiones del recipiente, teniendo en cuenta adicionalmente que:

- Se supone que tiene geometría cilíndrica.
- La relación de esbeltez óptima (h_L/D_r) = 1, la altura de la fase líquida es igual al diámetro interior del tanque.

Dimensiones características del reactor:

Como hemos supuesto que el reactor tiene una geometría cilíndrica, asumimos que el volumen de la columna de líquido es igual al de la carcasa cilíndrica:

$$V_w = \frac{\pi}{4} D_r^2 h_L \quad [\text{Ec. A4.32}]$$

$$[\text{Ec. A4.33}]$$

Relación de esbeltez: $h_L = D_r$

Diámetro interno de la carcasa cilíndrica (combinando las ecuaciones anteriores A4.32 y A4.33):

$$D_r = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_w}{\pi}} = 1,79 \text{ m} \quad [\text{Ec. A4.34}]$$

Altura de líquido: $h_L = 1,79 \text{ m}$

Altura de la carcasa cilíndrica: $h_r = \frac{V_r}{\pi \cdot R_i^2} = 2,24 \text{ m} \quad [\text{Ec. A4.35}]$

Por otro lado, el fondo del reactor no debe ser plano para eliminar esquinas o regiones en las que no circule el fluido. Así que el reactor contará con dos cabezales semielípticos, uno en el fondo y otro como tapa o cabeza, por lo que hay que recalcular la altura de la carcasa cilíndrica.

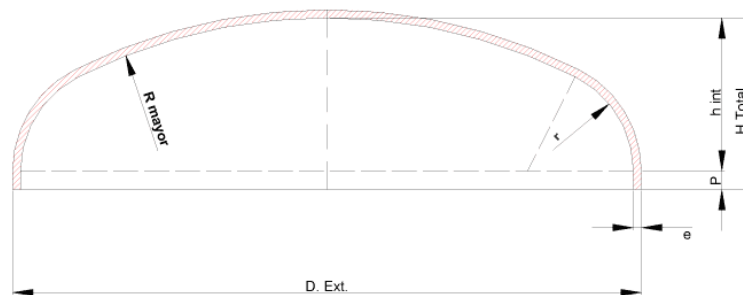


Figura A4.14: Esquema de una cabeza semielíptica 2:1.

El fondo o tapa de geometría semielíptica soporta mayores presiones que otras como las semiesféricas. El proceso de fabricación de estas tapas se realiza mediante estampación y, dada su enorme facilidad, se ha multiplicado su uso. Su silueta, en general, describe una elipse con relación entre sus ejes 2:1 y es ampliamente utilizada en la industria (figura A4.14).

$$[\text{Ec. A4.36}]$$

$$V_{\text{fondo}} = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24}$$

$$V_{\text{fondo}} = 0,75 \text{ m}^3$$

La altura de la cabeza y el fondo: $h_{\text{fondo}} = 0,30 \text{ m}$

Ahora se tienen que corregir el volumen total del reactor y la altura de la carcasa:

$$V_{\text{carcasa}} = V_r - 2 \cdot V_{\text{fondo}}$$

Donde,

D_i = diámetro interno del recipiente (m). En este caso coincide con el diámetro del reactor, calculado en la Ec. A4.34.

V_{carcasa} = volumen sólo de la carcasa cilíndrica, sin incluir los fondos ni el reactor, que sería el volumen total que hemos calculado anteriormente (m^3).

$$V_{\text{carcasa}} = 4,14 \text{ m}^3$$

Y la altura de la carcasa cilíndrica:

$$h_{\text{carcasa}} = \frac{4 \cdot V_{\text{carcasa}}}{\pi \cdot D_r^2} = 1,64 \text{ m} \quad [\text{Ec. A4.38}]$$

Y por último hay que recalcular la relación de esbeltez, para obtener la relación real entre la altura del tanque y su diámetro interno:

$$h_r/D_r = 1,25 \quad [\text{Ec. A4.39}]$$

Por lo que se comprueba que se cumple la suposición inicial.

En la siguiente tabla se resumen las dimensiones características del reactor:

REACTOR COMPLETO			CARCASA CILÍNDRICA		FONDO Y CABEZA SEMIELÍPTICAS	
h_r (m)	D_r (m)	V_r (m^3)	h_{carcasa} (m)	V_{carcasa} (m^3)	h_{fondo} (m)	V_{fondo} (m^3)
2,24	1,79	5,65	1,64	4,14	0,30	0,75

Tabla A4.21: Dimensiones características del reactor químico.

3.1.3. Cálculo de espesores

Para el cálculo de los espesores se va a seguir el código ASME sección VIII división 1, al igual que para el resto de equipos de este anejo (sedimentadores, tanques de almacenamiento, mezcladores, etc.) [3].

El material usado tanto para el tanque cilíndrico como para sus accesorios es acero inoxidable SS-316, material con alta resistencia a la corrosión. Además se trata de una carcasa fabricada de una sola pieza, sin juntas, por lo que la eficiencia de soldadura será igual a 1 (tabla A4.5).

Se ha elegido este acero inoxidable de alta calidad debido a que es compatible con todos los componentes de la mezcla. El caso más crítico es el del álcali, el hidróxido potásico (KOH), ya que este tipo de materiales suelen corroer superficies por tratarse de una base fuerte. Para la correcta elección del material, se han consultado las tablas de "Chemical resistance of metals" code UCS-25 [9].

Los datos de partida que nos permiten calcular los espesores de las distintas partes del reactor, son los siguientes:

$$P = \text{Presión de diseño máxima} = 3,5 \text{ kg/cm}^2 = 49,77 \text{ psi} \approx 50 \text{ psi}$$

$$T_{\text{diseño}} = T_{\text{operación}} + 20 \text{ }^\circ\text{C} = 80 + 20 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_i = \text{Radio interno} = 0,90 \text{ m} = 35,27 \text{ in}$$

σ_t = Esfuerzo máximo admisible = 18.750 psi (para aceros inoxidables 304 y 316, según Tabla UCS-23, que muestra las tensiones máximas admisibles para cada material a las diferentes temperaturas) → tabla A4.4 del presente anejo.

$$v_{\text{fluido}} = 1,5 \text{ m/s (de la tabla A4.22)}$$

$$\epsilon = \text{rugosidad} = 4,57 \cdot 10^{-5} \text{ m (tabla A4.23).}$$

c = sobreespesor de corrosión (mm). Se ha elegido el valor menor, ya que al tratarse de un acero inoxidable de alta calidad, suponemos que se corroe poco ($c = 0,8 \text{ mm}$, de la tabla A4.3).

E_s = eficiencia de junta o de soldadura (adimensional). Suponemos el valor de 1, porque se trata de una sola pieza, sin juntas ni soldaduras (tabla A4.5).

[3] Código ASME: <https://www.asme.org/>

[9] Megeysey, Eugene F. (1989). "Manual de recipientes a presión". Editorial Limusa S.A.

Tipo de fluido	v (m/s)
Vapor de agua saturado o ligeramente recalentado a P=0-2 kg/cm ²	20
Vapor de agua saturado o ligeramente recalentado a P>2 kg/cm ²	30
Vapor de agua recalentado a P<14 kg/cm ²	50
Agua en servicios normales	1,2-1,8
Aceites	1,5
Gas natural	30
Hidrógeno	20
Aire a P=0-2 kg/cm ²	20
Oxígeno a T ambiente	10

Figura A4.22: Velocidades características de fluidos en conducciones (valores medios usuales) ^[9].

Material	ε, factor rugosidad (mm)
Tubos estirados (latón, plomo, vidrio, similares)	0,00152
Acero comercial o hierro	0,0457
Hierro fundido asfaltado	0,122
Hierro galvanizado	0,152
Hierro fundido	0,259
Acero remachado	0,914-9,14

Figura A4.23: Valores de aspereza de superficies para varios materiales ^[7].

- *Espesor de la carcasa cilíndrica:*

Cálculo del espesor debido a los esfuerzos tangenciales:

$$t = 0,13 \text{ in} = 3,18 \text{ mm}$$

Controlan los esfuerzos tangenciales, como en los casos anteriores, por ello no se tienen en cuenta los esfuerzos longitudinales, por ser menores.

Se debe seleccionar el espesor comercial de chapa inmediatamente superior al obtenido, es decir, 4 mm.

- *Espesor mínimo del fondo y cabeza semielípticas:*

El fondo y la tapa son cabezales semielípticos, construidos con el mismo material que la carcasa, y soldados a tope con la misma mediante doble cordón de soldadura.

Para una geométrica elíptica con relación de ejes 2:1, el espesor mínimo debido a los esfuerzos se calcula con la ecuación A4.4:

$$t = 0,13 \text{ in} = 3,18 \text{ mm}$$

Se selecciona el espesor inmediatamente superior del mercado, es decir 4 mm.

3.1.4. Diseño del sistema de agitación

Los objetivos principales de cualquier sistema de agitación son los siguientes:

- Mezclar dos líquidos miscibles
- Realizar una disolución de sólidos en un líquido
- Mejorar la transferencia de calor
- Realizar la dispersión de un gas en un líquido
- Dispersión de partículas finas en un líquido
- Dispersión de dos fases inmiscibles

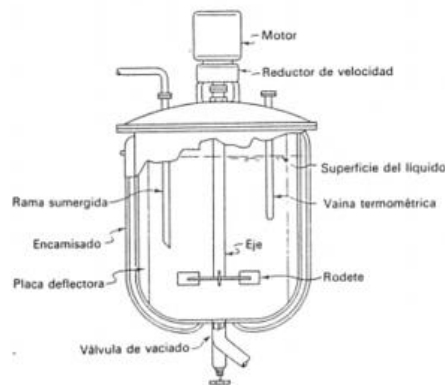


Figura A4.15: Aspecto típico de un reactor tipo tanque agitado.

En el caso que estamos analizando, se instalará el sistema de agitación en el reactor para mejorar la mezcla y la transferencia de calor entre los componentes. Se ha seleccionado un agitador de tipo hélice marina fabricado en acero inoxidable AISI 316 y compuesto por tres álabes.

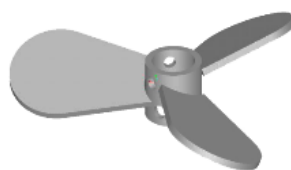


Figura A4.16: Agitador de tipo hélice marina estándar.

Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos poco viscosos. 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 líquido que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un movimiento considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido [8].

Para evitar los remolinos que se forman por el flujo circulatorio, en los tanques de gran tamaño con agitadores verticales, el método más conveniente es instalar placas deflectoras que impiden el flujo rotacional sin afectar al flujo radial ni longitudinal. Lo más eficaz y sencillo se consigue instalando las placas verticales perpendicularmente.

Para el diseño del agitador tipo hélice, inicialmente hay que determinar las dimensiones o proporciones típicas, tal y como el que se muestra en la figura A4.17:

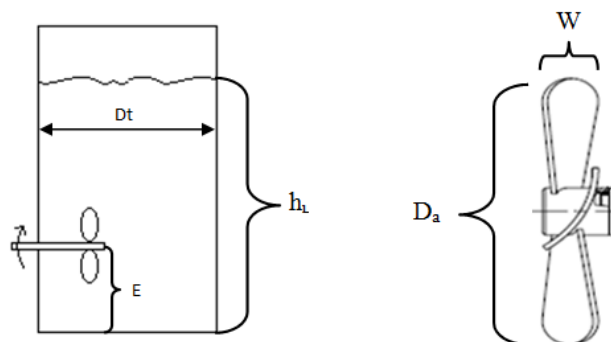


Figura A4.17: Dimensiones utilizadas para el cálculo de los parámetros del agitador.

Con las ecuaciones siguientes se obtienen las proporciones geométricas del agitador tipo hélice marina de 3 paletas:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{5} \quad \frac{h_L}{D_t} = 1 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{6}$$

[Ec. A4.40]

$$\frac{E}{h_L} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{8}$$

Siendo,

D_t = diámetro interno del tanque (m).

D_a = diámetro del agitador (m).

h_L = altura de líquido (m).

J = ancho de las placas deflectoras (m).

E = altura a la que se coloca el agitador desde el fondo del depósito (m).

W = ancho del agitador (m).

El número de placas deflectoras normalmente es 4; el número de palas del agitador varía entre 2 y 16, pero generalmente es de 6 u 8. Existen excepciones que puedan aconsejar proporciones diferentes de las indicadas anteriormente, pero éstas se consideran las condiciones estándar, y en ellas se basan muchas de las correlaciones publicadas sobre el funcionamiento de agitadores.

A continuación se indican las variables estándar que se han seleccionado para el sistema de agitación del reactor de saponificación, así como los parámetros geométricos que se han calculado con las Ec. A4.40:

Nº de placas deflectoras:	4
Nº de palas:	3
Diámetro del agitador:	$D_a = 0,36$ m
Ancho de las placas deflectoras:	$J = 0,22$ m
Altura del agitador desde el fondo del tanque:	$E = 0,60$ m
Ancho del agitador:	$W = 0,06$ m

3.1.4.1. Consumo de potencia ^[13]

Un importante factor en el diseño de un tanque agitado es la potencia requerida para mover el agitador. Para estimar esta potencia teórica, es preciso disponer de correlaciones empíricas que relacionen la potencia o el número de potencia con otras variables del sistema. La forma de tales correlaciones puede encontrarse mediante análisis dimensional, en función de las medidas importantes del tanque y del agitador,

la distancia del agitador al fondo del tanque, la profundidad del líquido, así como las dimensiones de las placas deflectoras, en caso de que se utilizasen.

Las variables que intervienen en el análisis son las medidas importantes del tanque y del agitador, la viscosidad y densidad del fluido, y la velocidad de giro.

Si suponemos que el líquido es newtoniano (la viscosidad se considera constante con el tiempo), la potencia (P) se puede expresar como una función de las restantes variables, es decir:

$$P = \psi(n, D_a, \mu, g, \rho)$$

[Ec. A4.41]

El número de potencia N_p se define como:

$$N_p = \frac{P}{n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho}$$

[Ec. A4.42]

N_p = número de potencia (adimensional).

n = velocidad del agitador. Velocidades normales para agitadores de tipo hélice marina están en el intervalo de 150-750 rpm ^[14]. Hemos seleccionado 200 rpm (3,33 s⁻¹).

ρ = 1085,90 (kg/m³).

μ = 0,0235 (kg/m·s).

P = potencia de agitación (kW, W ó CV).

El número de potencia es análogo a un factor de fricción o a un coeficiente de rozamiento. Es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre una unidad de área del agitador y la fuerza inercial. Esta última, a su vez, está relacionada con el flujo de cantidad de movimiento correspondiente al movimiento global del fluido.

Es necesario conocer el régimen de flujo del fluido mediante el cálculo del número de Reynolds:

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

[Ec. A4.43]

$$Re = 19.815 \text{ (flujo turbulento)}$$

De la Ec. A4.42 despejamos la potencia consumida por el agitador:

$$P = N_p \cdot n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho$$

La viscosidad y la densidad del fluido se han calculado a partir de una media ponderada de las viscosidades y densidades de cada reactante a la temperatura de operación.

Se cumple que el número de Reynolds es mayor a 10.000, por lo que se usan placas deflectoras. La figura A4.18, permite conocer el valor del número de potencia, según el número de Reynolds obtenido, y para el tipo de impulsor elegido:

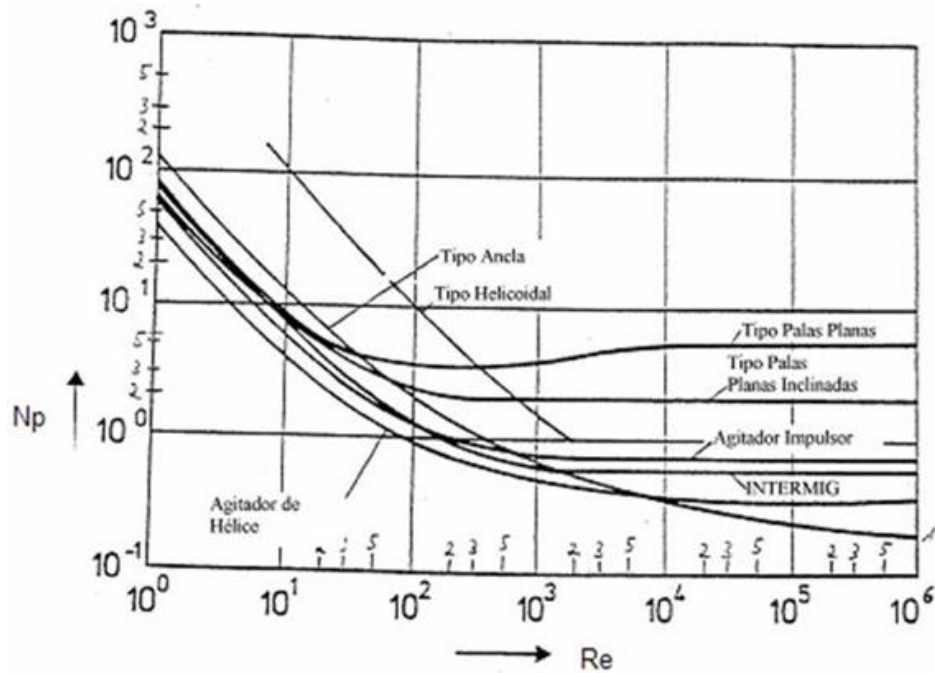


Figura A4.18: Gráfica de N_p vs N_{Re} [13].

El valor de N_p obtenido de la gráfica A4.19, con Re de 20.000 y agitador tipo hélice ha sido 0,5. Vemos, según la tabla A4.25 que el valor está dentro de la normalidad:

Tipo de agitador	Nº placas deflectoras	N_p
Hélice	0	0,3
Hélice	3 - 8	0,33 - 0,47
Turbina con cuchilla vertical	0	0,93 - 1,08
Turbina con cuchilla vertical	4	3 - 5
Turbina orientada 45°	0	0,7
Turbina orientada 45°	4	1,30 - 1,40
Ancla	0	0,28

Tabla A4.24: Valores típicos del número de potencia según tipo de agitador [13].

[13] Coulson&Richardson's (1999). "Chemical engineering". Vol.6. Editorial Oxford.

[14] <http://www.iprocomsa.com/>

Ya podemos calcular la potencia consumida: $P = 118,82 \text{ W}$

Este consumo de potencia es el proporcionado al fluido exclusivamente, pero no incluye la potencia consumida en las cajas de engranajes. Las eficiencias típicas de los motores eléctricos son: 75% para motores de 0,5 kW, 80% para 2 kW, 84% para 5 kW, 87% para 15 kW y aproximadamente 93% para motores de más de 150 kW. Como una aproximación, la pérdida de potencia en las cajas de engranajes y en la ineficiencia del motor eléctrico es de entre el 30 y el 40% de P , la entrada de potencia real en el fluido.

[Ec. A4.44]

$$P_{\text{motor}} = 1,4 \cdot P$$

Con P_{motor} , la potencia necesaria del motor (W).

$$P_{\text{motor}} = 166,35 \text{ W}$$

3.1.5. Camisa de calefacción. balance de energía

3.1.5.1. Introducción

La resolución del balance de energía en el reactor, se ha calculado en el apartado 3.2 “BE a la etapa de saponificación” del anejo 2 “BM y BE”.

El cálculo de la entalpia de reacción se realiza a partir de la energía de enlace de los componentes de la reacción, contabilizando el número de enlaces que se rompen y forman en el proceso de reacción química. Este cálculo se ha reflejado en el anejo 3 “Cinética de reacción química”.

3.1.5.2. Diseño de la camisa ^{[14], [7]}

Para esta etapa del proceso, la etapa de reacción, se ha seleccionado una camisa de calefacción en vez de un serpentín porque el área de contacto en el primer caso es mucho mayor y nuestro objetivo es que la mezcla esté lo más homogénea posible en cuanto a calor se refiere. Es preciso calentar de unos 35 hasta 90-100°C, durante el tiempo de reacción, 3,5 horas.

Para ello se ha instalado en el reactor una camisa fabricada en acero AISI 304 que recubre toda la carcasa, por la que circula vapor saturado como fluido calefactor.

La camisa está recubierta de una espuma elastomérica aislante térmica para reducir las pérdidas de calor. Aunque éstas, durante el periodo de operación, se consideran despreciables, ya que las paredes del reactor están rodeadas por el material aislante.

Se tienen los datos iniciales que aparecen en la tabla siguiente A4.25, y se quiere conocer el calor necesario para calentar la mezcla con un vapor saturado a una temperatura de entrada del vapor determinada.

Datos iniciales	valor	Datos a calcular
Temperatura del líquido a la entrada, T_{Le} (°C)	35	Temperatura del vapor a la entrada, T_{Ve} (°C)
Temperatura del líquido a la salida, T_{Ls} (°C)	90	Temperatura del vapor a la salida, T_{Vs} (°C)
Incremento de temperatura, ΔT (°C)	55	Calor a aportar a la mezcla, Q_{mezcla} (kJ)
Volumen de mezcla reaccionante, V_L (m ³)	4,52	Volumen de acero, V_{acero} (m ³)
Capacidad calorífica de la mezcla, C_{pL} (KJ/kg°C)	2,83	Masa de acero, m_{acero} (kg)
Diámetro del reactor, D_t (m)	1,79	Calor a aportar al tanque de acero, Q_{acero} (kJ)
Altura de líquido en el reactor, h_L (m)	1,79	
Tiempo necesario de calentamiento, t (min)	10	
Capacidad calorífica del acero, $C_{p_{acero}}$ (KJ/kg°C)	0,51	
Densidad del acero, ρ_{acero} (kg/m ³)	7859	
Coefficiente global de transmisión de calor, U (BTU/h.ft ² .°F)	50-150	

Tabla A4.25: Datos iniciales y a calcular para la camisa de termostatación del reactor.

El esquema de la camisa sería similar al de la figura A4.19:

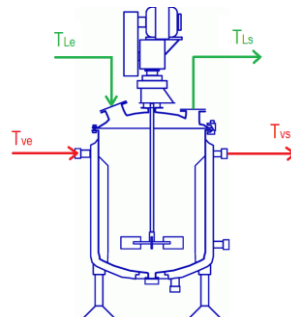


Figura A4.19: Aspecto de un RDMP provisto de una camisa.

El calor necesario a aportar a la mezcla de reacción para que se caliente hasta la temperatura deseada (90°C), se calcula con la ecuación A2.12 del anejo 2 “BM y BE”:

$$Q_{\text{fluido}} = m_{\text{fluido}} \cdot c_p \cdot \Delta T = 7,09 \cdot 10^5 \text{ kJ} \quad [\text{Ec. A2.12}]$$

También es necesario conocer la cantidad de calor necesaria para calentar el tanque de acero (con las ecuaciones A2.14 y A2.15 del anejo 2 “BM y BE”):

$$Q_{\text{acero}} = m_{\text{acero}} \cdot c_{p \text{ acero}} \cdot \Delta T = 2 \cdot 10^4 \text{ kJ} \quad [\text{Ec. A2.14}]$$

$$V_{\text{acero}} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 + 2 \cdot \pi \cdot D \cdot h \right) \cdot t_{\text{tanque}} = 0,09 \text{ m}^3 \quad [\text{Ec. A2.15}]$$

$$m_{\text{acero}} = V_{\text{acero}} \cdot \rho_{\text{acero}} = 712,53 \text{ kg} \quad [\text{Ec. A4.45}]$$

El calor total a aportar al sistema es la suma de los dos calores anteriores, pero además hay que tener en cuenta las posibles pérdidas de calor a través de las paredes del tanque, valor que fijamos en 4% como en el caso de cálculos anteriores:

$$Q_{\text{total a aportar}} = Q_{\text{fluido}} + Q_{\text{acero}} + Q_{\text{pérdidas}} = 7,57 \cdot 10^5 \text{ kJ} \quad [\text{Ec. A2.18}]$$

$$Q_{\text{pérdidas}} = 0,04 \cdot (Q_{\text{fluido}} + Q_{\text{acero}})$$

Ahora calculamos el área de calefacción necesaria para la transferencia de calor. Suponemos que la camisa llega hasta la superficie del líquido en el tanque ^[14]:

$$Q_{\text{total}} = A \cdot U \cdot \Delta T_m \quad [\text{Ec. A4.46}]$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_t^2 + \pi \cdot D_t \cdot h_L = 12,61 \text{ m}^2 \quad [\text{Ec. A4.47}]$$

Se ha seleccionado el valor del coeficiente global de transmisión de calor de la figura A4.20, para un vapor que circula por el interior de la camisa y un fluido orgánico que circula por el interior del tanque. Se ha convertido el valor a unidades del Sistema Internacional (284 W/m²·°C).

[7] R. H. Perry, D. W. Green. (1999). “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”. Editorial McGraw-Hill.

[14] Ocón G^a, J., Tojo Barreiro, G. (1986). “Problemas de ingeniería química”. Tomo I. Ediciones Aquilar

Jacket fluid	Fluid in vessel	Wall material	Overall U*	
			Btu/(h · ft ² · °F)	J/(m ² · s · K)
Steam	Water	Stainless steel	150–300	850–1700
Steam	Aqueous solution	Stainless steel	80–200	450–1140
Steam	Organics	Stainless steel	50–150	285–850
Steam	Light oil	Stainless steel	60–160	340–910
Steam	Heavy oil	Stainless steel	10–50	57–285
Brine	Water	Stainless steel	40–180	230–1625
Brine	Aqueous solution	Stainless steel	35–150	200–850
Brine	Organics	Stainless steel	30–120	170–680
Brine	Light oil	Stainless steel	35–130	200–740
Brine	Heavy oil	Stainless steel	10–30	57–170
Heat-transfer oil	Water	Stainless steel	50–200	285–1140
Heat-transfer oil	Aqueous solution	Stainless steel	40–170	230–965
Heat-transfer oil	Organics	Stainless steel	30–120	170–680
Heat-transfer oil	Light oil	Stainless steel	35–130	200–740
Heat-transfer oil	Heavy oil	Stainless steel	10–40	57–230

Figura A4.20: Varios coeficientes para tanques enchaquetados [7].

Ya podemos calcular la temperatura de entrada y de salida del vapor. Primero, de la ecuación A4.46 se despeja el incremento de temperaturas, y a continuación se puede obtener la T_{Ve} de la ecuación A4.48:

$$\Delta T_m = \frac{U \cdot A}{Q_{total}} = 352,89 \text{ K}$$

$$T_{Ve} = \Delta T_m + \frac{T_{Le} + T_{Ls}}{2} = 415,39 \text{ K} = 142,24^\circ\text{C} \quad [\text{Ec. A4.48}]$$

De las tablas de vapor saturado (tabla A2.6 del anejo 2 “BM y BE”) y con la temperatura obtenida, se ha seleccionado un vapor saturado a 3,93 kg/cm² y con las siguientes características:

T (°C)	P saturación (kg/cm ²)	V específico vapor (m ³ /kg)	s líquido (kcal/kg°K)	S vapor (kcal/kg°K)	h líquido (kcal/kg)	H vapor (kcal/kg)	λ vaporización (kcal/kg)
142,24	3,93	0,48	0,42	1,65	142,93	653,18	510,25

Tabla A4.26: Propiedades del vapor saturado seleccionado.

Ahora del balance de energía se despeja la temperatura de salida del vapor:

$$Q_{total} = m_v \cdot c_{pv} \cdot (T_{Vs} - T_{Ve}) = m_L \cdot c_{pL} \cdot (T_{Ls} - T_{Le}) = U \cdot A \cdot (T_{Vs} - T_{Ve})$$

$$T_{Vs} = \frac{\left(\frac{1}{U \cdot A} + \frac{1}{m_L \cdot c_{pL}}\right) \cdot T_{Ve} + \frac{1}{m_v \cdot c_{pv}} \cdot T_{Le}}{\frac{1}{m_v \cdot c_{pv}} + \frac{1}{m_L \cdot c_{pL}} + \frac{1}{U \cdot A}} \quad [\text{Ec. A4.48}]$$

$$T_{Vs} = 137,54^\circ\text{C}$$

El caudal de vapor necesario para llegar a la temperatura deseada se calcula con la ecuación A2.23 del anejo 2 “BM y BE”:

$$m_v = \frac{Q_{total}}{\lambda_v} = 2137,94 \text{ kg/h} \quad [\text{Ec. A2.23}]$$

3.1.5.3. Accesorios

Tal y como se ha indicado anteriormente, el reactor será de acero inoxidable, con un espesor de 4 mm, tanto en la carcasa cilíndrica como en tapa y fondo.

A continuación se citan los principales elementos y accesorios que contiene:

- Entrada superior para tubería de acero inoxidable, a través de la cual se alimentará el aceite al reactor.
- Entrada lateral para tubería de acero inoxidable, que viene directamente del tanque mezclador de potasa y permitirá el suministro de ésta para llevar a cabo la reacción.
- Boca de descarga de productos mediante una tubería de acero inoxidable, una en la parte alta del tanque para el jabón, y otra para purgas para la fase de glicerina.
- Recubrimiento de material aislante.
- Cédulas de carga que permiten medir el peso de aceite que se adiciona al reactor.
- Unidad de venteo.
- Boca de hombre superior de 20 in de diámetro.
- Escalera de acceso.
- 4 patas de apoyos constituidas por perfiles IPN.

3.2. MEZCLADOR DE LA DISOLUCIÓN DE KOH

Tanto para el caso del mezclador de la disolución de KOH al 25% que se adiciona al reactor durante la etapa de reacción, como para el posterior almacenamiento del jabón y de la fase glicerina en sus correspondientes tanques, se sigue el mismo procedimiento:

- Cálculo del factor de dimensionamiento, F con la Ec. A4.11 del presente anejo.
- Cálculo del volumen de líquido y volumen de reactor con las Ecs. A4.17 y A4.18, y A4.19, respectivamente.
- Convertir el valor de volumen de m^3 a ft^3 y buscar el punto de corte con la curva correspondiente de F (según valor obtenido en el punto 1) para determinar el diámetro óptimo del tanque, con ayuda de la Figura A4.1.

- Cálculo de la altura del tanque, según geometría cilíndrica, con la Ec. A4.20.
- Comprobación de la relación de esbeltez (h/D).
- Cálculo de espesor de la carcasa cilíndrica con la Ec. A4.1.
- Cálculo de espesor de la cabeza y fondo semielípticos 2:1, con la Ec. A4.3.
- Cálculo de las dimensiones del agitador, en el caso del mezclador, como en el apartado 3.4.1 del presente anejo.

Los datos necesarios para el cálculo de las dimensiones óptimas del mezclador son los que se muestran en la tabla A4.27:

Datos iniciales	valor
Volumen de mezcla reaccionante, V_L (m^3)	1,90
Altura de líquido, h_L (m)	1,34
Factor de diseño, F (adimensional)	0,05
Datos calculados	
Relación de esbeltez, (h_L/D_r)	2,27
Esfuerzo tangencial carcasa, $t_{carcasa}$ (mm)	2,18
Esfuerzo tangencial fondos, t_{fondos} (mm)	2,18

Tabla A4.27: Datos necesarios para el cálculo de las dimensiones.

En la siguiente tabla se resumen las dimensiones calculadas para el mezclador:

MEZCLADOR COMPLETO			CARCASA CILÍNDRICA		FONDO Y CABEZA SEMIELÍPTICAS	
h_r (m)	D_r (m)	V_r (m^3)	$h_{carcasa}$ (m)	$V_{carcasa}$ (m^3)	h_{fondo} (m)	V_{fondo} (m^3)
2,70	1,04	2,28	2,35	1,99	0,17	0,15

Tabla A4.28: Dimensiones características del mezclador de disolución de KOH.

Ahora se diseña el agitador como en el punto 3.1.4 “Diseño del sistema de agitación” del presente anejo. En este caso se ha seleccionado un agitador tipo turbina, ya que la mezcla no es tan viscosa como en el caso anterior; aquí se compone de un 75% de agua. El tipo de flujo en este caso es radial, a diferencia del agitador de hélice marina, donde es axial.

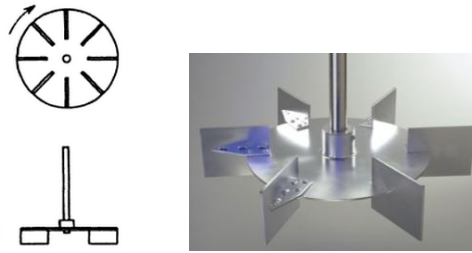


Figura A4.21: Agitador de turbina tipo disco con álabes (Rushton con 6 palas) [11].

Los parámetros geométricos para un agitador de turbina de 6 palas, se calculan con las Ecs. A4.49:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

[Ec. A4.49]

$$\frac{E}{D_a} = 1 \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Nº de placas deflectoras: 4

[11] J. M. Coulson, J. F. Richardson, J.R. Backhurst (1981). "Operaciones básicas en ingeniería química". Ed. Reverté

Nº de palas: 6

Diámetro del agitador: $D_a = 0,35 \text{ m}$

Longitud de las aspas del agitador: $L = 0,09 \text{ m}$

Ancho de las placas deflectoras: $J = 0,09 \text{ m}$

Altura del agitador desde el fondo del tanque: $E = 0,35 \text{ m}$

Ancho del agitador: $W = 0,07 \text{ m}$

Nº de Reynolds: $Re = 96.951$ (flujo turbulento)

Velocidad del agitador: $N = 100 \text{ rpm}$

Densidad de la mezcla: $\rho_{mezcla} = 1259,50 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

Viscosidad de la mezcla: $\mu_{mezcla} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ (kg/m} \cdot \text{s)}$

Nº de potencia: $N_p = 1,25$ (gráfica de la fig. A4.19)

Potencia necesaria: $P = 35,90 \text{ W}$

P incluyendo el motor: $P_{motor} = 50,26 \text{ W}$

El material seleccionado, tanto del tanque mezclador como del agitador, será acero inoxidable AISI-304, ya que aunque la disolución sólo contiene un 25% de KOH, es un reactivo corrosivo, y de este modo se evitan posibles problemas de deterioro.

3.3. UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA

Para minimizar la cantidad de sales e iones disueltas en el agua que se toma de la red de saneamiento del polígono industrial, se ha seleccionado el siguiente equipo para suplir los requerimientos de agua del proceso. Para las tareas de limpieza, no es necesario ser tan exhaustivos, por lo que se tomará el agua directamente de la red de abastecimiento.



Figura A4.22: Unidad de ósmosis inversa [15], [16].

Las características técnicas del modelo seleccionado, se muestran en la tabla A4.29:

Rango de producción	50 L/h a 200 m ³ /h
Tasa de rechazo mínimo	99%
Nº de membranas	2
Tamaño de membrana	4"x40"
Flujo de permeado	16.700 m ³ /día

Tabla A4.39: Características técnicas de la unidad de ósmosis serie TM [17].

3.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

3.4.1. Tanque de jabón base

Se procede de igual manera que en los apartados anteriores del presente anejo, teniendo en cuenta las consideraciones iniciales:

- Suponemos el recipiente con geometría cilíndrica.
- Con fondo y tapa elipsoidales 2:1.
- El material será acero inoxidable AISI-304.
- El tiempo de descarga del reactor al tanque se supone de unos 10 minutos.

[15] <http://www.f-w-s.com/>

[16] <http://www.lenntech.es/index.htm>

[17] <http://www.ecoionics.com/>

El producto a almacenar en este tanque es el jabón formado en el reactor en la fase anterior. Las características de la mezcla:

Componente	% peso	m (kg/lote)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m·s)
Agua	18,45%	626	958	$2,81 \cdot 10^{-4}$
KCl (sal)	1,00%	34	1950	-
Jabón	74,50%	2526	1000	$1,00 \cdot 10^{-3}$
Glicerina	6,00%	203	1200	1,5
Álcali libre (%KO ₂)	0,05%	2	-	-
total	100%	3391	1013	$9,09 \cdot 10^{-2}$

Tabla A4.30: Composición de la mezcla de fase jabón formada en el reactor.

El método de cálculo es igual que el descrito en el punto 3.2. “Mezclador de disolución de KOH” de este anejo.

Datos iniciales	valor
Volumen de mezcla reaccionante, V_L (m ³)	3,33
Factor de diseño, F (adimensional)	0,05
Relación de esbeltez supuesta (h/D)	2
Datos calculados	
Relación de esbeltez, (h_L/D_r)	2,27
Esfuerzo tangencial carcasa, $t_{carcasa}$ (mm)	4,17
Esfuerzo tangencial fondos, t_{fondos} (mm)	4,17

Tabla A4.31: Datos necesarios para el cálculo de las dimensiones.

En la siguiente tabla se resumen las dimensiones calculadas para el tanque:

TANQUE DE JABÓN COMPLETO			CARCASA CILÍNDRICA		FONDO Y CABEZA SEMIELÍPTICAS	
h_r (m)	D_r (m)	V_r (m ³)	$h_{carcasa}$ (m)	$V_{carcasa}$ (m ³)	h_{fondo} (m)	V_{fondo} (m ³)
3,25	1,25	3,99	2,84	3,48	0,21	0,26

Tabla A4.32: Dimensiones características del tanque de almacenamiento de jabón.

3.4.2. Tanque de glicerina

Del mismo modo que en punto anterior 3.4.1, se sigue idéntica secuencia de cálculo, con las consideraciones de partida:

- Suponemos recipiente cilíndrico, con fondo y tapa elipsoidales 2:1.
- El material será acero inoxidable AISI-304.
- El tiempo de descarga del reactor al tanque se supone de 10 minutos.
- Se diseñará el tanque para albergar, al menos, la cantidad de fase glicerina que se forma en dos lotes diarios.

El producto a almacenar en este tanque es la fase glicerina que se ha formado en el reactor. Quedará en el fondo del mismo, ya que esta fase es más densa que la fase jabonosa, que se forma en la fase superior durante la reacción de saponificación. Por tanto las conexiones de descarga del reactor a los tanques serán:

- Por la parte superior del reactor, irá la tubería que se dirige al tanque de almacenamiento de la fase jabón.
- Por la parte inferior del reactor, se colocará una tubería, a modo de extracción de purgas, que se dirige al tanque de fase glicerina. Se le llama así porque se trata de una mezcla acuosa de glicerol y otros elementos, como sal o una pequeña cantidad de álcali libre.

La glicerina que contiene la mezcla es de baja pureza. Si se quisiera obtener un grado de pureza mayor habría que someter a esta mezcla al proceso de purificación de glicerina, para poder utilizarla en otros ámbitos industriales. La instalación de este proyecto, desecha esta mezcla, gestionándola correctamente para tratarlas en EDAR

Cada lote de carga al reactor de 2500 kg de AVU y demás componentes, generan dos fases diferenciadas, la fase jabón que se definió en el apartado anterior y la fase glicerina, de la cual se forman unos 1.157 kg por lote. Como se ha considerado al principio de este apartado, diseñaremos el tanque de almacenamiento para que pueda albergar los dos lotes al día que se van a producir de esta mezcla, es decir, el doble de la cantidad anterior, unos 2.314 kg.

La mezcla que se forma derivada de la reacción de saponificación en el reactor químico es la siguiente:

Componente	% peso	m (kg/lote)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m·s)
Agua	72,90%	843	958,4	0,0003
KCl (sal)	12%	139	1950	-
Glicerol	15%	174	1200	1,5
Álcali libre (%K ₂ O)	0,10%	1	-	-
total	100%	1.157	1.114	0,23

Tabla A4.33: Composición de la mezcla de fase glicerina formada en el reactor.

Diseñaremos el tanque para que pueda albergar la capacidad de dos lotes, que es lo que se producirá al día, de modo que no haya que descargar todos los días el tanque de glicerina. El volumen de líquido de un lote de 1.157 kg, son 1,04 m³ de mezcla, por tanto habrá que coger el doble.

Datos iniciales	valor
Volumen de mezcla reaccionante, V _L (m ³)	2,08
Factor de diseño, F (adimensional)	0,05
Relación de esbeltez supuesta (h/D)	2
Datos calculados	
Relación de esbeltez, (h _L /D _r)	2,40
Esfuerzo tangencial carcasa, t _{carcasa} (mm)	3,85
Esfuerzo tangencial fondos, t _{fondos} (mm)	3,84

Tabla A4.34: Datos necesarios para el cálculo de las dimensiones.

En la siguiente tabla se resumen las dimensiones calculadas para el tanque:

TANQUE DE GLICERINA COMPLETO			CARCASA CILÍNDRICA		FONDO Y CABEZA SEMIELÍPTICAS	
h _r (m)	D _r (m)	V _r (m ³)	h _{carcasa} (m)	V _{carcasa} (m ³)	h _{fondo} (m)	V _{fondo} (m ³)
2,63	1,10	2,49	2,27	2,15	0,18	0,17

Tabla A4.35: Dimensiones características del tanque de almacenamiento de jabón.

4. SECCIÓN III. OPERACIONES DE TERMINACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL

4.1. MEZCLADOR AUXILIAR

El procedimiento de cálculo es el mismo que para el mezclador de disolución al 25% de KOH que se ha descrito en el punto 3.2 y que para el reactor químico.

La mezcla inicial proviene de la etapa anterior y se trata del jabón que se ha formado en el reactor, además de más agua que vamos a añadir para formar el jabón líquido y los aditivos (deodorante, pigmentos, aromas, etc.).

Componente	% peso	m (kg/lote)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m·s)
Agua	52,21%	3297	988	$2,81 \cdot 10^{-4}$
KCl (sal)	0,54%	34	1950	-
Jabón	40,00%	2526	1000	$1,00 \cdot 10^{-3}$
Glicerina	3,22%	203	1200	1,5
Álcali libre (%KO ₂)	0,03%	2	-	-
Deodorante	1,50%	95	-	
Fragancias	2,40%	152	-	
Pigmentos	0,10%	6	-	
total	100%	6315	1019	0,09

Tabla A4.36: Composición de la mezcla de fase jabón formada en el reactor.

Partimos de las siguientes consideraciones de partida:

- Suponemos recipiente con geometría cilíndrica, y fondos elipsoidales 2:1.
- El material será acero inoxidable AISI-304.
- El tiempo de descarga del tanque de jabón al mezclador es de 15 minutos.
- La relación de esbeltez (h/D) es igual a 1, por ser un tanque con agitación.
- El agitador que se ha seleccionado coincide con el del reactor químico, ya que, pese a tratarse de una mezcla, sin reacción química, las condiciones fluido-dinámicas de la misma son similares, por tanto se piensa que es la elección más idónea.

Los datos necesarios para el cálculo de las dimensiones óptimas del mezclador son los que se muestran en la tabla A4.37:

Datos iniciales	valor
Volumen de mezcla reaccionante, V_L (m ³)	6,20
Volumen de trabajo, V_w (m ³)	7,44
Datos calculados	
Relación de esbeltez, (h_L/D_r)	1,67
Esfuerzo tangencial carcasa, $t_{carcasa}$ (mm)	5,09
Esfuerzo tangencial fondos, t_{fondos} (mm)	5,08

Tabla A4.37: Datos necesarios para el cálculo de las dimensiones.

En la siguiente tabla se resumen las dimensiones calculadas para el mezclador de aditivos de esta etapa:

MEZCLADOR DE ADITIVOS COMPLETO			CARCASA CILÍNDRICA		FONDO Y CABEZA SEMIELÍPTICAS	
h_r (m)	D_r (m)	V_r (m ³)	$h_{carcasa}$ (m)	$V_{carcasa}$ (m ³)	h_{fondo} (m)	V_{fondo} (m ³)
2,80	1,68	7,44	2,24	6,20	0,28	0,62

Tabla A4.38: Dimensiones características del mezclador de disolución de KOH.

Ahora se diseña el agitador como en el punto 3.1.4 “Diseño del sistema de agitación” del presente anejo. Se ha seleccionado un agitador tipo hélice marina de similar características al del reactor químico. El material seleccionado, tanto del mezclador como del agitador, será acero inoxidable AISI-304.

Los parámetros geométricos calculados y las propiedades fluido-dinámicas y de consumo de potencias para este agitador, son:

Nº de placas deflectoras:	4
Nº de palas:	3
Diámetro del agitador:	$D_a = 0,34$ m
Ancho de las placas deflectoras:	$J = 0,21$ m
Altura del agitador desde el fondo del tanque:	$E = 0,56$ m
Ancho del agitador:	$W = 0,06$ m
Nº de Reynolds:	$Re = 2109$ (flujo laminar)
Velocidad del agitador:	$N = 100$ rpm

Densidad de la mezcla:	$\rho_{mezcla} = 1019 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
Viscosidad de la mezcla:	$\mu_{mezcla} = 9,1 \cdot 10^{-2} \text{ (kg/m} \cdot \text{s)}$
Nº de potencia:	$N_p = 0,60$ (gráfica de la fig. A4.19)
Potencia necesaria:	$P = 12,09 \text{ W}$
P incluyendo el motor:	$P_{motor} = 16,93 \text{ W}$

4.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE JABÓN LÍQUIDO

Del mismo modo que en el caso de los tanques de jabón y glicerina (apartados 3.4.1 y 3.4.2), se procede al cálculo de las dimensiones mismo modo.

Una vez que se ha mezclado el jabón procedente de la saponificación con agua y los aditivos (pigmentos y aromas), hay que almacenar este producto terminado en un recipiente, a la espera de la siguiente etapa, que es el envasado del producto.

Consideraciones iniciales:

- Suponemos recipiente con geometría cilíndrica, con fondos elipsoidales 2:1.
- Relación de esbeltez (h/D) igual a 2.
- El material será acero inoxidable AISI-304.
- El tiempo de descarga del reactor al tanque suponemos que es 15 minutos.

El producto a almacenar es el jabón líquido, producto final del proceso, que permanecerá en él a la espera de ser envasado y posteriormente distribuido. Antes de ser transferido al tanque de almacenamiento de jabón terminado, se tomará una muestra y se analizará en el laboratorio de control de calidad.

El producto (jabón líquido), tiene las siguientes características:

Componente	% peso	m (kg/lote)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m·s)
Agua	54,00%	3.410	1000	0,001
Jabón	38,30%	253	1010	0,001
Glicerina	3,20%	2.419	1249	1,5
Aditivos (aromas y pigmentos)	4,00%	202	-	-
Sal (KCl)	0,5%	32	1988	-
total	100%	6.315	967	0,05

Tabla A4.39: Composición de la mezcla que va a albergar el tanque de almacenamiento de jabón líquido.

Datos iniciales	valor
Volumen de mezcla reaccionante, V_L (m ³)	6,53
Factor de diseño, F (adimensional)	0,05
Relación de esbeltez supuesta (h/D)	2
Datos calculados	
Relación de esbeltez, (h_L/D_r)	2,66
Esfuerzo tangencial carcasa, $t_{carcasa}$ (mm)	4,69
Esfuerzo tangencial fondos, t_{fondos} (mm)	4,69

Tabla A4.40: Datos necesarios para el cálculo de las dimensiones.

En la siguiente tabla se resumen las dimensiones calculadas para el tanque:

TANQUE DE JABÓN LÍQUIDO COMPLETO			CARCASA CILÍNDRICA		FONDO Y CABEZA SEMIELÍPTICAS	
h_r (m)	D_r (m)	V_r (m ³)	$h_{carcasa}$ (m)	$V_{carcasa}$ (m ³)	h_{fondo} (m)	V_{fondo} (m ³)
3,97	1,49	7,84	3,47	6,97	0,25	0,44

Tabla A4.41: Dimensiones características del tanque de almacenamiento de jabón.

4.3. ENVASADORA, TAPONADORA Y ETIQUETADORA

La última etapa del proceso es el envasado del jabón líquido, posterior etiquetado y enroscado de tapones o dosificadores y empaquetado en cajas de cartón para su almacenaje en el stock del almacén de producto terminado y futura distribución a supermercados y tiendas de ultramarinos de nuestra ciudad.

La envasadora seleccionada es una dosificadora automática de la marca “Lleal Process” con las siguientes características [17]:

- Modelo B-310. Serie Star.
- Dos velocidades de dosificación (grueso y afine).
- Sistema de dosificación: bombas positivas y compensadoras de caudales automáticos.
- Ajuste de dosis independiente por boquilla.
- Mordaza universal, sin cambio de formato.
- Rango de dosificación: desde 50 cl hasta 5 L.
- Válida para productos espumosos y viscosidades de hasta 15.000 cp.

[17] <http://www.lleal.com/es/>

- Velocidad de dosificación aproximada: 2000 L/hora.
- Opcional: conexión de boquillas portátil para 10 y 25 L sobre palé.

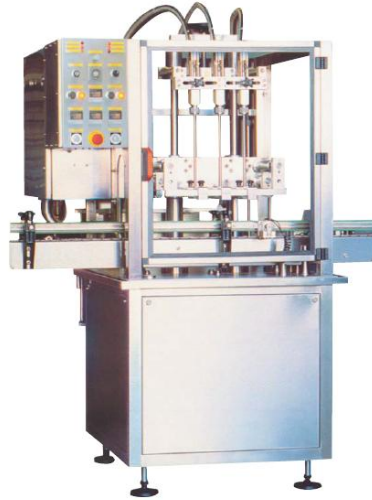


Figura A4.23: Envasadora automática B-310, serie Star^[17].

El volumen que hay que envasar con la máquina dosificadora es:

$$V_L \cong 6,32 \text{ m}^3 = 6.315 \text{ L}$$

El tiempo estimado que se tarda en llenar ese volumen de jabón líquido, según la velocidad de la dosificadora automática es:

$$\frac{6.315 \text{ L}}{1 \text{ lote}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{2.000 \text{ L}} = 3,16 \text{ h/lote}$$

Se ha propuesto envasar el lote en dos sub-lotes de la mitad de litros cada uno, por tanto se estima que:

$$\text{Sublote de envasado: } \frac{6.315 \text{ L}}{2 \text{ sublote}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{2.000 \text{ L}} = 1,58 \text{ (h/sublote)}$$

La capacidad de los botes seleccionados para envasar el jabón líquido será de 500 mL. Según la planificación diaria propuesta por el jefe de producción de la planta, o sea el ingeniero químico, se obtendrán un número de botes determinado:

[17] <http://www.lleal.com/es/>

	1 lote	½ lote
Volumen a envasar (L)	6.315	3.157,5
Capacidad del envase (mL)	500	500
Nº botes	12.630 botes	6.315 botes
Velocidad envasado	≈ 67 botes/min	

Tabla A4.42: Nº de botes a envasar de jabón líquido.

Los envases seleccionados para el llenado de producto serán enviados por dos proveedores diferentes:

- Jaspá → botellas PET serie 530

Con las características siguientes:

Referencia	Capacidad (mL)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Rosca	Ud./caja
BJP-533	500	88	125	28/410	170

Tabla A4.43: Envases de 500 mL del proveedor Jaspá.



- Rafesa → botellas PET

Con las características siguientes:

Modelo	Capacidad útil (mL)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Rosca	Uds.
Five hundred 500	522	74	159	24/410plinto	30.000 (mín.)

Tabla A4.44: Envases de 500 mL del proveedor Rafesa ^[18].



Una vez que se han llenado los botes, pasan a la taponadora. Se ha seleccionado un tapador automático también de la marca “Lleal Process” [17].

Las características son las que siguen:

- Tapador Duo modelo 4/12 RP.
- Tapador de rosca o a presión.
- Estrella central intermitente (mecánica) con cambio de divisiones de 4 ó 12, para formatos desde 250 cc hasta 10 L.

[18] <http://www.rafesa.biz/>



Figura A4.24: Taponadora automática 4/12 RP [17].

A continuación los botes pasan a la etiquetadora. La máquina seleccionada para esta etapa ha sido de la marca “Chabot Delrieu Associates” (CDA) [19].

La etiquetadora automática modelo Ninon 1500 M&B, permite aplicar una o dos etiquetas adhesivas sobre cualquier envase cilíndrico (frascos, botellas, conservas, bidones, tubos, de estuches acartonados, tarros etc.).

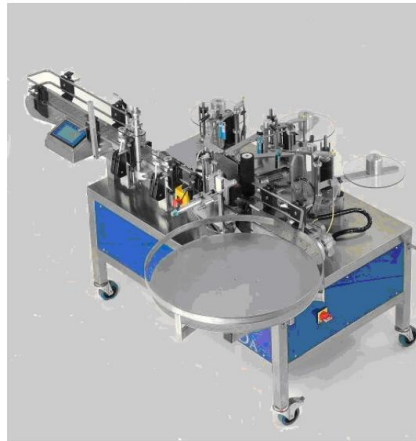


Figura A4.25: Etiquetadora Ninom 1500 M&B de CDA [19].

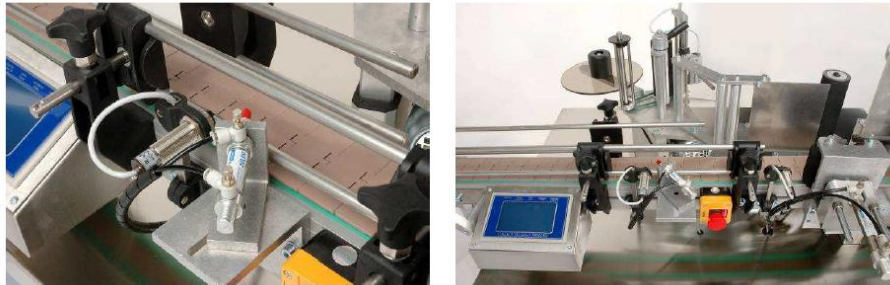
Algunas de sus características funcionales son las que siguen:

- Transportador:
 - Transportador motorizado con perfiles de aluminio anodizado y con cadena transportadora de platillos de resina.
 - Guías laterales de acero inoxidable, chasis de acero inoxidable,
 - Sistema de selección por cilindro neumático o por un sinfín, según el tipo de producto a etiquetar.
 - Mesa de recolección rotativa de 700 mm de diámetro instalada al final del transportador.
- Etiquetado:
 - Estación de etiquetado para aplicar etiquetas en productos cilíndricos, equipada con dispensador de etiquetas, de contra etiquetas y para tercera etiqueta.
 - Altura de etiqueta de 8 a 300 mm.
 - Regulación de etiqueta mediante pantalla táctil. Control y gestión de los parámetros de la máquina por pantalla táctil.



- Hasta 1500 productos por hora, según diámetro y tipo de posicionado.
- Otros:

- Marcador por transferencia térmica.
- Sistema de etiquetado de envases ligeramente tronco-cónicos.
- Sensor para detección de etiquetas.



- Soporte de bobinas montado en casquillos con brazo de frenado para bobinas pesadas.
- Sistema de alarma.
- Detección fin de bobina, detección de ausencia de etiqueta en el producto.

Las características técnicas y sus dimensiones se detallan en la tabla A4.45:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Máquina	
Anchura (mm)	1555
Alto (mm)	1200
Largo (mm)	2285
Transportador	
Altura (mm)	925 mm
Mando	Por pantalla táctil
Potencia consumida (kW)	2 kW
Otros	
Cadencia (botes/h)	Hasta 1500
Peso aproximado (kg)	250
Consumo de aire (m ³ /h)	20 (máx. 6 bares, aire seco)
Temperatura ideal funcionamiento (°C)	10-30

Tabla A4.45: Características técnicas de la etiquetadora Ninom 1500 M&B de CDA ^[19].

[19] <http://www.cdafrance.com/>

ANEJO 5.

INSTRUMENTACIÓN

Y

TUBERÍAS

ÍNDICE ANEJO 5.

INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS

1.	INTRODUCCIÓN	216
2.	TUBERÍAS	217
1.1.	LINEAS DE TUBERÍAS	217
1.1.1.	Cálculo del diámetro de tubería de cada línea	220
1.1.2.	Cálculo del espesor de la tubería	223
2.	INSTRUMENTACIÓN	227
2.1.	ACTUADORES	228
2.2.	INSTRUMENTOS DE MEDIDA	230
2.3.	CONTROLADORES	232
3.	IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS	233
3.1.	BOMBAS DEL PROCESO	233
3.2.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE POTENCIA Y SELECCIÓN DE BOMBA	234

1. INTRODUCCIÓN

Algunos de los objetivos de la instrumentación y del control del proceso son:

- Conocer los contenidos de materia y energía en cada corriente/equipo de la planta.
- Conseguir una optimización operativa de la planta.
- Aumentar la seguridad en la planta.
- Reducir la mano de obra.

La instrumentación de la instalación es el conjunto de aparatos destinados a medir variables del proceso tales como caudales, temperaturas, niveles de recipientes, etc.

Los instrumentos que se van a instalar son:

- Instrumentos de medida de la temperatura:
 - En los tanques de sedimentación.
 - En el reactor.

- Instrumentos de medida de nivel:
 - En los tanques de sedimentación.
 - En los tanques intermedios de almacenamiento de aceite.
 - En el reactor.
 - En el mezclador de disolución de KOH.
 - En el mezclador auxiliar.
 - En los tanques intermedios de almacenamiento de jabón.

- Instrumentos de medida de caudal:
 - En la línea de alimentación de aceite a la centrífuga.
 - En la línea de alimentación de aceite al reactor.
 - En la línea de alimentación de disolución KOH al reactor.
 - En la línea de alimentación de jabón líquido a la envasadora.

- Instrumentos de medida de pH:
 - En el reactor.
 - En el mezclador de disolución de KOH.
 - En el mezclador auxiliar.

2. TUBERÍAS

En el presente anejo del proyecto se va a realizar el diseño de la instalación de tuberías, bombas y accesorios (válvulas, codos, bridas, etc.), para la impulsión de líquidos de un lugar a otro de la planta de proceso. El diseño de las tuberías consiste en la selección del material de construcción, el cálculo del diámetro y el espesor de las mismas, así como la caída de presión que va a experimentar el fluido al ser impulsado de un punto a otro.

Para el cálculo de los tramos de tubería necesarios en la instalación objeto del presente proyecto, se ha tomado como referencia el código para tuberías a presión ANSI B31 ^[1].

La adecuada elección del tipo de tuberías a utilizar depende de los factores:

- Esfuerzo a las temperaturas de trabajo.
- Tiempo de vida útil.
- Periodos de mantenimiento.
- Facilidad de instalación y reparación.
- Adecuada resistencia a la corrosión y erosión.
- Coste de los equipos.

Examinando un diagrama de proceso, se puede deducir la importancia que tendrán los anteriores elementos en la construcción de una planta química. Los sistemas de tuberías representan, aproximadamente un tercio del coste del material en una planta de proceso, requieren entre un 30%-40% del trabajo de montaje, consumen 40%-48% de las horas-hombre de ingeniería y ocupan un 50% del volumen de material.

2.1. LINEAS DE TUBERÍAS

En la tabla A5.1 se muestran las líneas principales de conducción de fluidos que existen en la instalación:

TUBERÍA	LÍNEA	MATERIAL Tubería	TIPO Fluido
1	Descarga de la balsa-filtro a los sedimentadores	Acero al carbono SA-53 grado B	Aceite sucio
2	Descarga de los sedimentadores al tanque de almacenamiento n°1 (AVU _{sedimentado})	Acero al carbono SA-53 grado B	Aceite semi-sucio
3	Descarga de tanque de almacenamiento n°1 a la centrífuga de discos	Acero al carbono SA-53 grado B	Aceite semi-sucio
4	Descarga de la centrífuga al tanque de almacenamiento n°2 (AVU _{centrifugado})	Acero al carbono SA-53 grado B	Aceite limpio
5	Alimentación de aceite al reactor químico	Acero inoxidable SS-304	Aceite limpio
6	Descarga de la unidad de ósmosis inversa al tanque de almacenamiento n°3 (agua)	Acero al carbono SA-53 grado B	Agua
7	Alimentación al mezclador de disolución KOH	Acero inoxidable SS-304	Agua
8	Alimentación del mezclador n°1 (disol. KOH) al reactor químico	Acero inoxidable SS-304	Disolución de potasa (25%)
9	Descarga del reactor al tanque de almacenamiento n°4 (jabón)	Acero inoxidable SS-304	Fase jabón
10	Descarga del reactor al tanque de almacenamiento n°5 (fase glicerina)	Acero inoxidable SS-304	Fase glicerina
11	Alimentación del tanque n°4 (jabón) al mezclador n°3 para producto terminado	Acero inoxidable SS-304	Jabón
12	Alimentación del tanque de almacenamiento n°3 al mezclador n°3	Acero al carbono SA-53 grado B	Agua
13	Descarga del mezclador n°3 al tanque de almacenamiento n°6 (jabón líquido terminado)	Acero inoxidable SS-304	Jabón líquido
14	Descarga del tanque de almacenamiento n°6 a la envasadora-llenadora	Acero inoxidable SS-304	Jabón líquido
V1	Calentamiento de la caldera a los serpentines de los sedimentadores	Acero inoxidable SS-316	Vapor saturado
V2	Calentamiento de la caldera a la camisa reactor	Acero inoxidable SS-316	Vapor saturado

Tabla A5.1: Principales conducciones de tuberías de la planta.

En la siguiente figura A5.1, se ilustra el diagrama de instrumentación y tuberías de la planta de proceso:

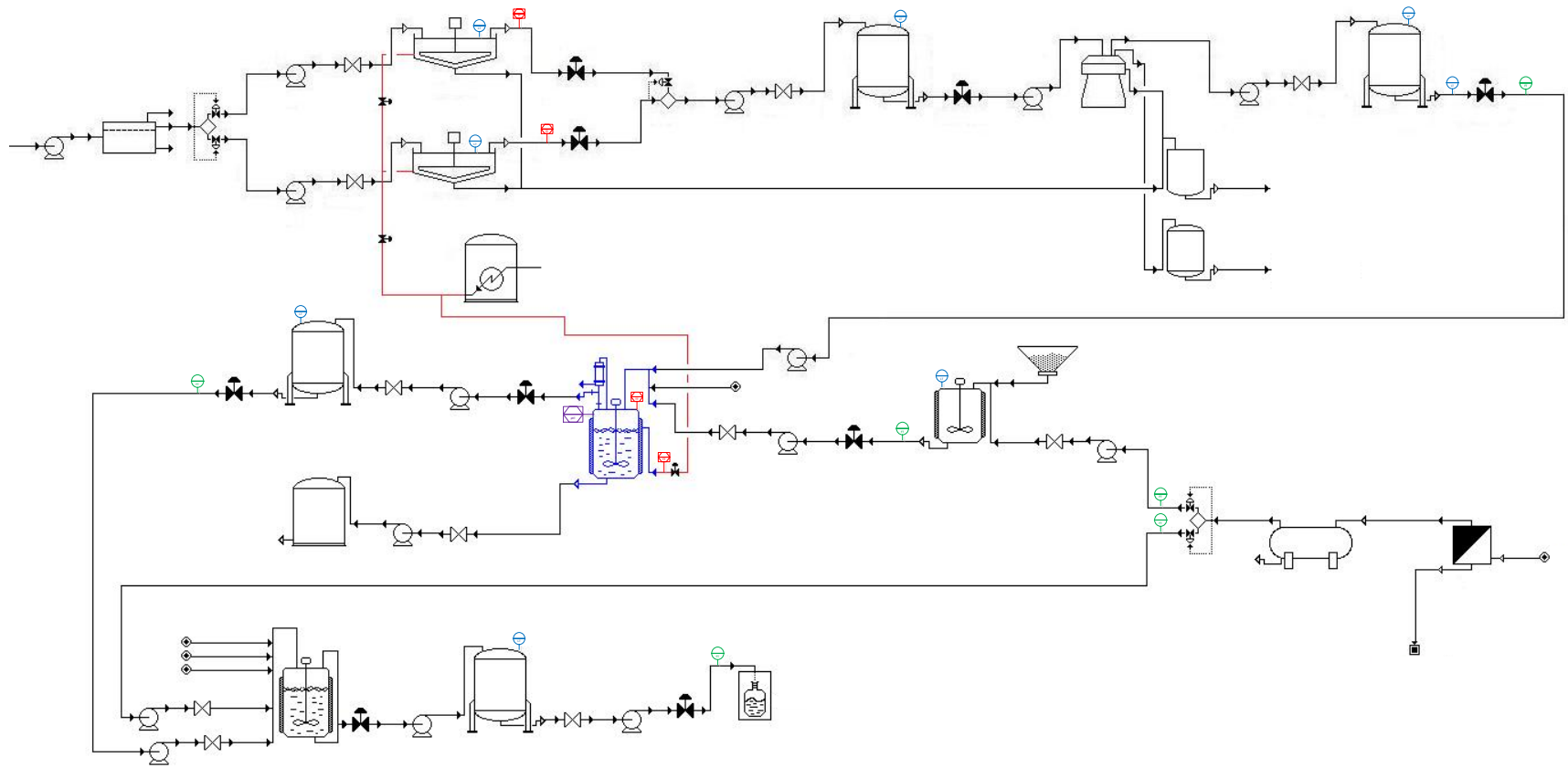


Figura A5.1: Diagrama de instrumentación y tuberías del proceso.

El procedimiento de cálculo a seguir para cada una de las conducciones de tuberías de la instalación atiende a los siguientes pasos:

1. Cálculo del diámetro de la tubería o conducción.
2. Cálculo del espesor de tubería.
3. Cálculo de las pérdidas de carga que tiene que soportar.
4. Cálculo de los parámetros característicos de la bomba que debe soportar estas pérdidas de carga.

2.1.1. Cálculo del diámetro de tubería de cada línea

Antes de comenzar a calcular las dimensiones de cada tubería, se tienen que establecer algunas suposiciones en relación con la conducción de fluidos por tubos [2]:

- Fluido incompresible → la densidad del fluido que circula por la tubería se supone prácticamente constante y por tanto su volumen también.
- Tuberías circulares → la geometría se supone cilíndrica, lisas (la rugosidad es muy pequeña), y de acero.
- Régimen de flujo → laminar, de transición o turbulento, según número de Reynolds.
- Flujo estacionario → permanece invariable con el tiempo.
- Condiciones isotérmicas → temperatura constante a lo largo de toda la conducción.
- Fluido newtoniano → la viscosidad del fluido no cambia prácticamente a lo largo de la conducción, y por tanto el fluido cumple la Ley de Newton.

Por otra parte, se necesitan datos de partida que sean de ayuda para el cálculo de las dimensiones características de las conducciones. Éstos se han seleccionado según el Código ASME [1] y dependen del material seleccionado para cada tramo de tubería, y son los siguientes:

CARACTERÍSTICA	ACERO AL CARBONO	ACERO INOXIDABLE
Rugosidad, ϵ (m)	$4,57 \cdot 10^{-5}$	$4,57 \cdot 10^{-5}$
Sobrespesor de corrosión, c (mm)	1,5-3	0,8-1,5
Presión de diseño, P (kg/cm ²)	3,5	3,5
P (psi)	50	50
Velocidad máxima del fluido, v (m/s)	1,5	1,5
Tensión máxima del material, σ (psi)	13.800	18.750
Eficiencia de junta, Es	1	1
Coefficiente corrector, Y = f (material, T ^a)	0,4	0,4
Tolerancia de fabricación, M (%)	12,50	12,50

Tabla A5.2: Propiedades estándar de los materiales acero al carbono y acero inoxidable.

El procedimiento de cálculo que se ha seguido para la determinación del diámetro de cada tubería es:

1. Establecer inicialmente dicho diámetro, en función del caudal de fluido que circula por la conducción.
2. Estimar, además, la velocidad del fluido, en base a valores tabulados (ver figura A4.23 de velocidades características de fluido en conducciones del anejo 4 “Diseño de equipos”).
3. A continuación, será necesario comprobar la aceptabilidad del diámetro supuesto en el punto 1, estudiando que la pérdida de carga que se producirá en el sistema es aceptable y que no se presentarán problemas mecánicos derivados de la misma. Si no, habrá que suponer un nuevo diámetro o la velocidad del fluido y recalcular el resto.

En la tabla A4.23, del anejo 4 “Diseño de equipos”, se consulta el valor de velocidad media de los fluidos que circulan por las tuberías de la instalación. Éstos son básicamente aceite y agua, por lo que se supone como velocidad de partida 1,5 m/s.

La ecuación básica para el cálculo del diámetro es,

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad [\text{Ec. A5.1}]$$

de donde se puede despejar el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad [\text{Ec. A5.2}]$$

Donde:

Q = caudal del fluido (m³/s).

v = velocidad de paso del fluido por la tubería (m/s).

S = sección o área de paso (m²).

D = diámetro interior nominal de la tubería (m).

Naturalmente, este es el diámetro teórico calculado, que normalmente no coincidirá con un diámetro comercial, llamado nominal o Schedule, que será necesario

elegir, desde un punto de vista práctico, el inmediatamente superior disponible en el mercado (figura A5.2).

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule no.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference, ft. or surface, ft ² /ft of length		Capacity at 1-ft/s velocity		Weight of plain-end pipe, lb/ft
					Metal, in ²	Flow, ft ²	Outside	Inside	U.S. gal/min	lb/h water	
½	0.405	10S	0.049	0.307	0.055	0.00051	0.106	0.0804	0.231	115.5	0.19
		40ST, 40S	.068	.269	.072	.00040	.106	.0705	.179	89.5	.24
		80XS, 80S	.095	.215	.093	.00025	.106	.0563	.113	56.5	.31
¾	0.540	10S	.065	.410	.097	.00092	.141	.107	.412	206.5	.33
		40ST, 40S	.088	.364	.125	.00072	.141	.095	.323	161.5	.42
		80XS, 80S	.119	.302	.157	.00050	.141	.079	.224	112.0	.54
1	0.675	10S	.065	.545	.125	.00162	.177	.143	.727	363.5	.42
		40ST, 40S	.091	.493	.167	.00133	.177	.129	.596	298.0	.57
		80XS, 80S	.126	.423	.217	.00098	.177	.111	.440	220.0	.74
1½	0.840	5S	.065	.710	.158	.00275	.220	.186	1.234	617.0	.54
		10S	.083	.674	.197	.00248	.220	.176	1.112	556.0	.67
		40ST, 40S	.109	.622	.250	.00211	.220	.163	0.945	472.0	.85
		80XS, 80S	.147	.546	.320	.00163	.220	.143	0.730	365.0	1.09
		160	.188	.464	.385	.00117	.220	.122	0.527	263.5	1.31
		XX	.294	.252	.504	.00035	.220	.066	0.155	77.5	1.71
2	1.050	5S	.065	.920	.201	.00461	.275	.241	2.072	1036.0	0.69
		10S	.083	.884	.252	.00426	.275	.231	1.905	951.5	0.86
		40ST, 40S	.113	.824	.333	.00371	.275	.216	1.665	822.5	1.13
		80XS, 80S	.154	.742	.433	.00300	.275	.194	1.345	672.5	1.47
		160	.219	.612	.572	.00204	.275	.160	0.917	458.5	1.94
		XX	.308	.434	.716	.00103	.275	.114	0.461	230.5	2.44
2½	1.315	5S	.065	1.155	.255	.00768	.344	.310	3.449	1725	0.87
		10S	.109	1.097	.413	.00636	.344	.287	2.946	1473	1.40
		40ST, 40S	.133	1.049	.494	.00600	.344	.275	2.690	1345	1.68
		80XS, 80S	.179	0.957	.639	.00499	.344	.250	2.240	1120	2.17
		160	.250	0.815	.836	.00362	.344	.213	1.625	812.5	2.84
		XX	.358	0.599	1.076	.00196	.344	.157	0.678	439.0	3.66
3	1.660	5S	.065	1.530	0.326	.01277	.435	.401	5.73	2565	1.11
		10S	.109	1.442	0.531	.01134	.435	.378	5.09	2545	1.81
		40ST, 40S	.140	1.380	0.668	.01040	.435	.361	4.57	2255	2.27
		80XS, 80S	.191	1.278	0.851	.00891	.435	.325	3.99	1995	3.00
		160	.250	1.160	1.107	.00734	.435	.304	3.29	1645	3.76
		XX	.382	0.896	1.534	.00438	.435	.225	1.97	955	5.21
3½	1.900	5S	.065	1.770	0.375	.01709	.497	.463	7.67	3835	1.28
		10S	.109	1.682	0.614	.01543	.497	.440	6.94	3465	2.09
		40ST, 40S	.145	1.610	0.800	.01414	.497	.421	6.34	3170	2.72
		80XS, 80S	.200	1.500	1.069	.01225	.497	.393	5.49	2745	3.63
		160	.281	1.338	1.429	.00976	.497	.350	4.38	2190	4.86
		XX	.400	1.100	1.885	.00660	.497	.288	2.96	1480	6.41
4	2.375	5S	.065	2.245	0.472	.02749	.622	.588	12.34	6170	1.61
		10S	.109	2.157	0.776	.02538	.622	.565	11.39	5695	2.64
		40ST, 40S	.154	2.067	1.075	.02330	.622	.541	10.45	5225	3.65
		80ST, 80S	.218	1.939	1.477	.02050	.622	.508	9.20	4600	5.02
		160	.344	1.667	2.195	.01552	.622	.436	6.97	3485	7.46
		XX	.436	1.503	2.656	.01232	.622	.393	5.53	2765	9.03
4½	2.875	5S	.083	2.709	0.728	.04003	.753	.709	17.97	8965	2.48
		10S	.120	2.635	1.039	.03787	.753	.690	17.00	8500	3.53
		40ST, 40S	.203	2.469	1.704	.03322	.753	.647	14.92	7460	5.79
		80XS, 80S	.276	2.323	2.254	.02942	.753	.608	13.20	6600	7.66
		160	.375	2.125	2.945	.02463	.753	.556	11.07	5535	10.01
		XX	.552	1.771	4.028	.01711	.753	.464	7.68	3840	13.69
5	3.500	5S	.083	3.334	0.891	.06063	.916	.873	27.21	13.605	3.03
		10S	.120	3.260	1.274	.05796	.916	.853	26.02	13.010	4.33
		40ST, 40S	.216	3.068	2.228	.05130	.916	.803	23.00	11.500	7.58
		80XS, 80S	.300	2.900	3.016	.04587	.916	.759	20.55	10.275	10.25
		160	.438	2.624	4.213	.03755	.916	.687	16.86	8430	14.32
		XX	.600	2.300	5.466	.02885	.916	.602	12.95	6475	18.58
6	4.0	5S	.083	3.834	1.021	.08017	1.047	1.004	35.98	17.990	3.48
		10S	.120	3.760	1.463	.07711	1.047	0.984	34.61	17.305	4.97
		40ST, 40S	.226	3.548	2.680	.06670	1.047	0.929	30.80	15.400	9.11
		80XS, 80S	.318	3.364	3.678	.06170	1.047	0.881	27.70	13.850	12.50
7	4.5	5S	.083	4.334	1.152	.10245	1.178	1.135	46.0	23.000	3.92
		10S	.120	4.260	1.651	.09898	1.178	1.115	44.4	22.200	5.61
		40ST, 40S	.237	4.025	3.17	.08540	1.178	1.054	39.6	19.800	10.79
		80XS, 80S	.337	3.825	4.41	.07986	1.178	1.002	35.8	17.900	14.98

Figura A5.2: Propiedades de tuberías de acero [3].

La tabla (A5.2), muestra los diámetros normalizados de tubería de acero disponibles en el mercado, y los espesores en función de su catalogación. La catalogación de tubería seleccionada inicialmente es la 5S para todas las líneas excepto para las líneas que llevan vapor, líneas V1 y V2, que será 40S. Una vez

calculadas las presiones de descarga, se comprobará si el espesor es el adecuado, en caso contrario se seleccionará otro espesor que soporte la presión de trabajo.

2.1.2. Cálculo del espesor de la tubería

El cálculo del espesor de pared se realiza con ayuda de la formula siguiente, que debe ser utilizada para todos los cálculos de diseño ^[1]:

$$t_m = \left(\frac{P \cdot D_0}{2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)} + c \right) \cdot M \quad [\text{Ec. A5.3}]$$

siendo:

Y = coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura. Para aceros su valor es de 0,4 hasta temperaturas de 900 °F.

M = tolerancia de fabricación. Para tuberías de acero, el valor usualmente admitido es 12,5%.

Para poder determinar la caída de presión debida a la presencia de accesorios en la tubería tales como válvulas, codos, ensanchamientos, reducciones, etc., se emplea el concepto de longitud equivalente. Dicha longitud equivalente hace referencia a la longitud de tubería recta de igual diámetro que el accesorio, que produciría una pérdida de carga igual a la del accesorio. De esta manera se considera al accesorio como si fuera un tramo de tubería. La pérdida de carga en la conducción se calcula con la ecuación A5.3 y con la ayuda de la figura A5.4:

$$h_f = 4f_F \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{Ec. A5.4}]$$

Donde,

$4f_F = f_D$, que es el factor de fricción de Darcy (adimensional).

f_F = factor de fricción de Fanning. Se calcula con la ecuación de Chen ^[2].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left[\frac{1}{3,7065} \frac{\varepsilon}{D} - \frac{5,0452}{Re} \log \left(\frac{1}{2,8257} \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,1098} + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right) \right] \quad [\text{Ec. A5.5}]$$

$$f_F = \frac{16}{Re}$$

L = es la longitud de la tubería (m).

D = es el diámetro interior de la tubería (m).

v = es la velocidad del fluido (m/s).

ε/D = rugosidad relativa (adimensional).

La ecuación de Chen para calcular el factor de fricción, se aplica en los casos en que el flujo esté en la región de régimen de transición o turbulento. Para el caso de flujo laminar ($Re < 2000$), se usa la segunda ecuación.

[2] G^a Camacho, F. (2005). "Apuntes de la asignatura Operaciones de Transporte de Cantidad de Movimiento".
Universidad de Almería

En un sistema con distintos accesorios, las pérdidas de presión vendrán dadas por la siguiente expresión (la longitud equivalente se calcula como la suma de la longitud supuesta de tubería multiplicada por la longitud equivalente de los tramos rectos que depende del tipo de accesorio):

$$h_f = h_{f,\text{conducción}} + \sum h_{f,\text{accesorios}} = 4f_F \cdot \frac{L + \sum L_e}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{Ec. A5.6}]$$

Tipo de accesorio	Descripción	Longitud equivalente L_e / D^*
Válvula de globo	Completamente abierta	350
Válvula de compuerta	Completamente abierta	13
	¾ abierta	35
	½ abierta	160
	¼ abierta	900
Válvula de retención		50 – 100
Codo estándar de 90°		30
Codo estándar de 45°		16
Codo de 90°	Radio largo	20
Codo de servicio de 90°		50
Codo de servicio a 45°		26
Unión en "T"	Flujo en línea	20
	Flujo en ramal	60
Codo a 180°	Patrón estrecho	50

Figura A5.3: Longitudes equivalentes representativas (L_e/D) para válvulas y accesorios [3].

Con ayuda de los valores de las figuras A5.2 y A5.3, y las fórmulas descritas antes, los resultados obtenidos para la instalación, son los de la tabla A5.5.

TUBERÍA	LÍNEA	DN (in)	D _{int} (m)	v _{real} (m/s)	L _{total} (m)	Re	ε/D	f _D	h _f (m)
1	de la balsa-filtro a los tanques sedimentadores	2 ^{1/2}	0,069	1,60	47,34	2234,68	6,64E-04	0,048	4,29
2	de los tanques sedimentadores al tanque de AVU _{sedimentado}	2 ^{1/2}	0,069	1,52	41,59	2174,17	6,64E-04	0,048	3,47
3	del tanque de AVU _{sedimentado} a la centrífuga	3/4	0,023	1,80	6,34	1096,75	1,96E-03	0,058	2,60
4	de la centrífuga al tanque de AVU _{centrifugado}	3/4	0,023	1,79	7,34	1081,02	1,96E-03	0,059	3,02
5	del tanque de AVU _{centrifugado} al reactor	3/4	0,023	1,64	10,04	994,54	1,96E-03	0,064	3,80
6	de la unidad de ósmosis al tanque de agua	2	0,057	1,63	18,55	93035,53	8,01E-04	0,022	0,96
7	del tanque de agua al mezclador de disolución KOH	1/2	0,018	1,55	16,48	27911,39	2,53E-03	0,029	3,29
8	del mezclador de disolución de KOH al reactor	1/2	0,018	1,64	6,80	4687,05	2,53E-03	0,041	2,10
9	del reactor al tanque de jabón	1	0,030	1,31	7,01	438,55	1,52E-03	0,146	2,98
10	del reactor al tanque de fase glicerina	1/2	0,018	1,13	5,34	100,26	2,53E-03	0,638	12,33
11	del tanque de jabón al mezclador auxiliar	1	0,030	1,31	6,01	438,55	1,52E-03	0,146	2,53
12	del tanque de agua al mezclador auxiliar	3/4	0,023	1,73	16,44	40438,79	1,96E-03	0,027	2,91
13	del mezclador auxiliar al tanque de jabón líquido	1 ^{1/4}	0,039	1,45	6,89	984,80	1,18E-03	0,065	1,25
14	del tanque de jabón líquido a la envasadora	1	0,030	1,22	6,91	635,76	1,52E-03	0,101	1,75
V ₁	de la caldera a los tanques sedimentadores	1/8	0,007	0,75	23,01	386,08	6,69E-03	0,166	16,10
V ₂	de la caldera a reactor	3/4	0,021	1,90	5,72	2890,23	2,18E-03	0,046	2,29

Tabla A5.5: Cálculo de las dimensiones características de cada tramo de línea de tubería de la instalación.

En cuanto a tipo y número de accesorios, caudal, propiedades de los fluidos (densidad y viscosidad), espesor normalizado de la conducción, etc.; los datos obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Línea	1	2	3	4	5
Caudal, Q (m ³ /s)	5,94·10 ⁻³	5,67·10 ⁻³	7,70·10 ⁻⁴	7,66·10 ⁻⁴	7,05·10 ⁻⁴
Densidad, ρ (kg/m ³)	936	901	901	899	899
Viscosidad, μ (Ps·s)	4,6·10 ⁻²	4,35·10 ⁻²	3,45·10 ⁻²	3,47·10 ⁻²	3,47·10 ⁻²
Nº codos	2 (90°)	2 (90°)	0	0	1 (90°)
Nº Tes	1 (división)	1 (unión)	0	0	0
Nº válvulas	1 (de bola y 3 vías)	1 (de bola y 3 vías)	1 (automática)	1 (automática)	1 (automática)
Nº bombas	2	1	1	1	1
D ₀ calculado (mm)	68	68	22	22	22
D ₀ normalizado (mm)	69	69	23	23	23
Designación (Schedule)	5S	5S	5S	5S	5S
Espesor, t (mm)	2,11	2,11	1,65	1,65	1,65

Línea	6	7	8	9	10
Caudal, Q (m ³ /s)	4,17·10 ⁻³	3,95·10 ⁻⁴	4,18·10 ⁻⁴	9,33·10 ⁻⁴	9,29·10 ⁻⁴
Densidad, ρ (kg/m ³)	1000	1000	1261	1009	1113
Viscosidad, μ (Ps·s)	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³	7,90·10 ⁻³	9,09·10 ⁻²	2,26·10 ⁻¹
Nº codos	2	2	0	0	1 (90°)
Nº Tes	0	1 (división)	0	0	0
Nº válvulas	1 (de globo, manual)	1 (de 3 vías y de bola)	1 (automática)	1 (automática)	1 (automática)
Nº bombas	1	1	1	1	1
D ₀ calculado (mm)	56	17	17	28	16
D ₀ normalizado (mm)	57	18	18	30	18
Designación (Schedule)	5S	5S	5S	5S	5S
Espesor, t (mm)	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65

Línea	11	12	13	14	V1	V2
Caudal, Q (m ³ /s)	9,29·10 ⁻⁴	7,42·10 ⁻⁴	1,73·10 ⁻³	8,66·10 ⁻⁴	2,76·10 ⁻⁵	6,52·10 ⁻⁴
Densidad, ρ (kg/m ³)	1014	1000	1013	1013	939	911
Viscosidad, μ (Ps·s)	9,09·10 ⁻²	1·10 ⁻³	5,84·10 ⁻²	5,84·10 ⁻²	1,25·10 ⁻²	1,25·10 ⁻²
Nº codos	0	3 (90°)	0	1 (90°)	4 (90°)	1 (90°)
Nº Tes	0	0	0	0	2 (división)	0
Nº válvulas	1 (automática)	1 (automática)	1 (automática)	1 (automática)	2 (automática)	1 (automática)
Nº bombas	1	1	1	1	2	1
D ₀ calculado (mm)	28	22	38	27	5	20
D ₀ normalizado (mm)	30	23	39	30	7	21
Designación (Schedule)	5S	5S	5S	5S	40S	40S
Espesor, t (mm)	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65

Tabla A5.6: Otros parámetros importantes para el diseño de instrumentación y tuberías.

3. INSTRUMENTACIÓN

Generalmente, para una planta de proceso, se establecen algunos criterios de exigencia para su buen funcionamiento, y son los siguientes puntos:

- Especificaciones de producto.
- Regulaciones medioambientales.
- Restricciones de operación inherentes al proceso.
- Economía (máxima eficiencia de conversión de materias primas).
- Seguridad (restricciones globales de condiciones de operación).

Estas exigencias obligan a la necesidad de una monitorización continua del proceso y a una intervención externa, control, que mantenga estos objetivos. Concretamente, dicha intervención está encaminada a compensar las perturbaciones del proceso, asegurar un funcionamiento estable y a conseguir una operación óptima. La automatización de una planta consiste en efectuar una vigilancia y acción correctora de forma automática, mediante la instalación de un conjunto de instrumentos de medida y manipulación del proceso que constituyen el sistema de control.

La instrumentación requerida para llevar a cabo estas funciones se puede clasificar en cuatro tipos:

- Instrumentos de medida o dispositivos para medir las variables controladas u otras variables que utilice el sistema de control (sensores).
- Actuadores o dispositivos capaces de mover las variables manipuladas del proceso en la dirección adecuada (principalmente válvulas de regulación, resistencias eléctricas, etc.).
- Sistemas de transmisión de información capaces de llevar las señales medidas a los controladores y las señales de control a los actuadores.
- Controladores o dispositivos capaces de determinar las actuaciones necesarias a partir de la información obtenida del proceso y del comportamiento deseado (PID's).

3.1. ACTUADORES

Como actuadores se van a utilizar válvulas de regulación y de bloqueo, concretamente se han seleccionado válvulas de tipo aguja a la salida de los tanques, de compuerta (todo-nada) a la entrada de los tanques, y de 3 vías (y bola) [6].

- Válvulas de aguja: este tipo de válvula es llamada así, por el vástago cónico que hace de obturador sobre un orificio de pequeño diámetro en relación al diámetro nominal de la válvula. Son de tipo retención de líquido, para que no retorne a la bomba centrífuga conectada a la misma conducción.

El desplazamiento del vástago, si es de rosca fina, es lento y el hecho de que hasta que no se gira un buen número de vueltas la sección de paso del fluido es mínima, convierte a esta válvula en una buena reguladora de caudal, por su estabilidad, precisión y el diseño del obturador que facilita un buen sellado metálico, con poco desgaste que evita la cavitación a grandes presiones diferenciales.

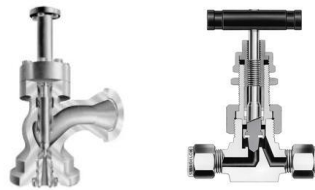


Figura A5.4: Aspecto general de una válvula de aguja [4].

Por ser buenas reguladoras del caudal, se van a instalar a la salida de los tanques y otros equipos y poder controlar el flujo de salida.

- Válvula de compuerta: de tipo todo-nada, operan totalmente cerradas, abiertas 100% o en posiciones intermedias de apertura. Son de tipo manual.

Se utilizan para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción.

Cuando la válvula está totalmente abierta, el área de flujo coincide con el diámetro nominal de la tubería, por lo que las pérdidas de carga son relativamente pequeñas.

Este tipo de válvula no es recomendable para regulación o estrangulamiento ya que el disco podría resultar erosionado. Parcialmente abierta puede sufrir vibraciones.

[4] <http://www.jimten.com/>

[5] <http://groupproinval.com/>

[6] División de Ingeniería de Crane (1977). "Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías". Editorial McGraw-Hill.



Figura A5.5: Aspecto general de una válvula de de compuerta [4], [5].

La operación de obertura y cierre es lenta. Debido al desgaste producido por la fricción no se recomienda en instalaciones donde su uso sea frecuente. Habrá en la instalación, válvulas de este tipo tanto manuales (abrir-cerrar a la entrada de los tanques), como controladas por un actuador.

- Válvula de 3 vías y bola: en la válvula de bola un macho esférico agujereado controla la circulación del líquido. El sellado en válvulas de bola es excelente, la bola contacta de forma circunferencial y uniforme el asiento, el cual suele ser de materiales blandos.

Las aplicaciones más frecuentes de la válvula de bola son de obertura/cierre. No son recomendables usarlas en servicios de parcialmente abiertas por un largo tiempo bajo condiciones de alta caída de presión a través de la válvula, ya que los asientos blandos pueden tener tendencia a salir de su sitio y obstruir el movimiento de la bola.

Permiten un cierre rápido y eficaz del fluido, pudiendo modificar su direccionamiento. Permiten dividir o unir flujos de fluidos según demanda en la planta de producción y deben de ser controladas con un actuador.



Figura A5.6: Aspecto de una válvula de 3vías manual y con actuador neumático [5].

La pérdida de presión en relación al tamaño del orificio de la bola es pequeña.

[5] <http://www.groupproival.com/>

El uso de la válvula está limitada por la resistencia a temperatura y presión del material del asiento, metálico o plástico.

Se emplean en vapor, agua, aceite, gas, aire, fluidos corrosivos, pastas aguadas y materiales pulverizados secos.

Una vez seleccionado el tipo de válvulas disponibles en el mercado para la instalación, se resumen en la tabla A5.7 las especificaciones de las válvulas del proceso en cada una de las conducciones.

Válvulas	Tipo de válvula	Material de construcción
V1	3 vías (división)	AISI 316
V2	3 vías (unión)	AISI 316
V3, V5, V7, V11, V12, V13, V14, V _{vapor1} , V _{vapor2}	Aguja	AISI 316
V2, V4, V6, V8, V9, V10	Compuerta (todo-nada)	AISI 316

Tabla A5.8: Características de las válvulas del proceso.

3.2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Estos son los sensores cuya función es la captación de una variación de alguna propiedad del proceso mediante la medida de otra propiedad física relacionada.

También es frecuente el uso de términos como transmisores, transductores y convertidores para el conjunto de operaciones proporcionadas por un sensor. También son parte constitutiva de un sistema de medida los acondicionadores de señal (filtrado, modulación, amplificación/atenuación y linealización) y los indicadores (visualización).

Los tipos de señales se clasifican en mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares (químicas) y en todos los casos, la medida se establece por comparación de una unidad estándar o patrón de medida. Dicha comparación se puede hacer de forma directa o indirecta. La cadena de medida en la actuación de un sensor aparece en la figura A5.6.

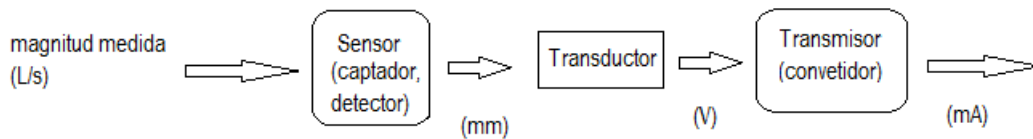


Figura A5.7: Cadena de medida en supervisión y control.

La transmisión eléctrica es más versátil en cuanto a su procesamiento, tiene mayor capacidad de transmisión y es prácticamente instantánea. Se estandariza en un intervalo de 4 a 20 mA en intensidad de corriente para la detección de fallos de conexión.

Los tipos de sensores que se utilizarán en el proyecto son:

- ✓ Sensores de temperatura: Los termopares son los sensores de temperatura utilizados con mayor frecuencia en las industrias. El efecto termoeléctrico da lugar a los termopares y consiste en la generación de una fuerza electromotriz en el punto de unión de 2 metales, la cual depende de la temperatura y obviamente, del tipo de metal.

La selección del material y la cubierta protectora en un termopar permiten cubrir una gran diversidad de condiciones de operación con constantes de tiempo que oscilan entre 1-15 segundos. Normalmente, en un termopar distinguimos 2 uniones (la unión caliente, situada en el proceso que se quiere medir, y la unión fría o de referencia, que suele estar a varios metros de distancia y localizada en los instrumentos de medición de voltaje).

- ✓ Sensor de nivel: El nivel se puede medir por métodos directos, que miden el desplazamiento de la superficie libre del fluido, o por métodos indirectos, los cuales miden variables relacionadas.

Los sensores de nivel por presión hidrostática no son recomendables, se obtienen resultados más fiables por sensores electro – ópticos o por medidas continuas con sensores ultrasónicos. El grado de complejidad depende de las propiedades del líquido (viscosidad, corrosión, etc.), así como de las condiciones de servicio (depósitos abiertos/cerrados, agitación, espumas) y operación (temperatura, presión).

Se seleccionan los sensores de desplazamiento, por su robustez. Respecto al modo de operación, puede interesar tomar medidas del tipo todo - nada (salida digital) o tomar medidas proporcionales (que miden la evolución del

nivel con el tiempo), obteniendo salidas analógicas, en este caso se elige la medida proporcional para conocer en todo momento el estado de los niveles de los tanques.

- ✓ Sensor de caudal: La gama de caudalímetros de uso industrial es muy amplia. Se van a necesitar varios sensores de caudal para los distintos líquidos de la planta; jabón, agua, aceite, etc. Se ha seleccionado para ello un caudalímetro magnético recomendado por su alta precisión y tendrá una salida lineal.
- ✓ Sensor de pH: Como sensores de pH para la instalación en la planta se eligen electrodos de combinación con cuerpo de epoxy, que resiste mejor los golpes, electrolito sólido, membrana de vidrio para propósito general, diafragma de PTFE y referencia de Ag/AgCl, que son los más utilizados.

3.3. CONTROLADORES

Se van a instalar controladores de tipo PID que son de gran aplicación industrial por su robustez y sencillez.

Las características de los PID dentro de un lazo de control por realimentación, en el que en función de la diferencia entre la consigna y la variable a regular, que es el error o desviación de regulación, el regulador trata de anularla actuando según diferentes algoritmos, los cuales dan unas características propias a la regulación global del proceso. Estas características se recogen en la siguiente figura [7].

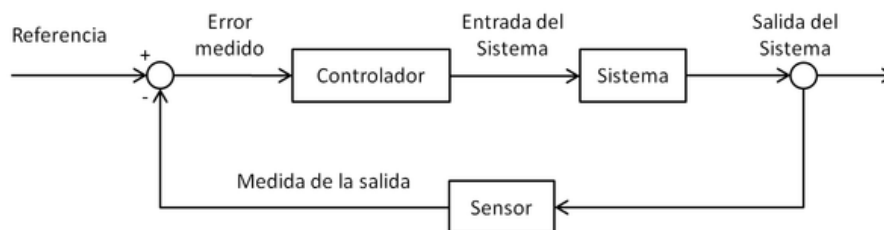


Figura A5.8: Elementos de un lazo de control por realimentación.

Algunas características de las acciones asociadas a distintos tipos de controladores son las que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de controlador	Características
Proporcional, P	<ul style="list-style-type: none"> • No modifica la dinámica del proceso (mismo orden de la función de transferencia, FT) • La respuesta es más rápida • Produce un error de estado estacionario ("offset")
Integral, I	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa el orden de FT. • Elimina el error de régimen permanente. • Produce problemas de saturación de la acción integral ("reset windup")
Derivativo, D	<ul style="list-style-type: none"> • No cambia el orden de FT. • Respuesta rápida a los cambios. • Necesitan filtrado de la señal para eliminar ruido. • Usado en combinación.
PI	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina el error en régimen permanente y acelera la respuesta. • Inestable debido a su respuesta excesivamente oscilatoria.
PID	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona control robusto, por ser una combinación de los 3 modos de control. • Aumenta la complejidad del sintonizado.

Tabla A5.9: Características de los distintos tipos de control [7].

4. IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS

Cuando un fluido no posee la energía suficiente para vencer las diferencias de altura, velocidad o presión que se requieran, es necesario comunicársela con ayuda de aparatos mecánicos adecuados. Los métodos habituales de suministrar la energía requerida son los de desplazamiento positivo y los centrífugos.

Las bombas que se utilizaran en el proceso son bombas centrífugas para todo el proceso, y bombas peristálticas para el envasado del jabón líquido.

4.1. BOMBAS DEL PROCESO

Las bombas utilizadas en el proceso son las siguientes:

Peristáltica (x1) (hidráulica de desplazamiento positivo)	B15 (del tanque de jabón líquido a la envasadora)
Centrifuga (x18)	B1 a B14

Tabla A5.10: N° y tipo de bombas usadas en la planta de jabón líquido.

4.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE POTENCIA Y SELECCIÓN DE BOMBA

Para calcular la energía necesaria que hay que comunicar a la unidad de masa de fluido circulante para que sea desplazado de un punto a otro (del punto 1 al punto 2 de la figura A5.8), se tiene que aplicar la ecuación de Bernoulli entre estos extremos (1 y 2) del sistema.

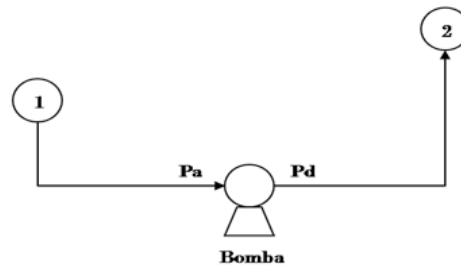


Figura A5.9: Esquema de bombeo [2].

Lo primero es calcular las pérdidas de carga asociadas a toda la línea de la tubería. Estas pérdidas de carga se pueden deber a la existencia de accesorios, el tramo recto de tubería y la existencia de equipos que produzcan pérdidas de carga [6]. Estas ya se han calculado anteriormente (h_F en la tabla A5.5).

El siguiente paso es calcular la carga neta positiva de aspiración (CNPA) de la bomba, con la ecuación A5.7:

$$CNPA = \left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} \right) + z_1 + h_F \quad [\text{Ec. A5.7}]$$

Donde:

CNPA = carga neta positiva de aspiración (m).

z_1 = altura de aspiración en el punto 1 (m).

P_1 = presión en el punto 1 (N/m^2).

P_v = presión de vapor del fluido (N/m^2) que se considera la del agua debido al alto contenido en agua del producto. Su valor es $4,15 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$.

A continuación se calcula la carga total que ha de vencer la bomba mediante la siguiente expresión (ecuación de Bernoulli):

$$\Delta h = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} \right) + (z_2 - z_1) + h_F \quad [\text{Ec. A5.8}]$$

Donde:

Δh = carga total que ha de vencer la bomba expresada (m).

$(z_2 - z_1)$ = diferencia de altura existente entre el punto de aspiración (1) y el punto de descarga (2) de la bomba (m).

$(P_2 - P_1)$ = diferencia de presión existente entre el punto de admisión y el de descarga de la bomba (N/m²).

Una vez calculada la carga total, se necesita el valor de la presión de descarga con la siguiente expresión:

$$P_d = \frac{1}{2,31} \cdot SG \cdot \Delta h \quad [\text{Ec. A5.9}]$$

$$SG = \frac{\rho_{\text{fluido}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad [\text{Ec. A5.10}]$$

Donde:

P_d = presión de descarga (psi).

SG = gravedad específica (adimensional).

Δh aquí se expresa en pies (ft).

Por último se debe calcular la potencia hidráulica y la potencia absorbida de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$P_{\text{Hidráulica}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h \quad [\text{Ec. A5.11}]$$

$$\eta_{\text{total}} = \frac{P_{\text{hidráulica}}}{P_{\text{absorbida}}} \quad [\text{Ec. A5.12}]$$

Donde:

$P_{\text{hidráulica}}$ = potencia que la bomba transfiere directamente al fluido (W).

$P_{\text{absorbida}}$ = potencia eléctrica consumida por la bomba teniendo en cuenta el rozamiento interior producido en la misma (W).

Q = caudal que se quiere impulsar con la bomba (m^3/s).

η_{total} = rendimiento de la bomba (adimensional).

BOMBA	LÍNEA	Δh (m)	CNPA (m)	P_d (psi)	$P_{hidráulica}$ (kW)	$P_{absorbida}$ (kW)
1	trasvase aceite de balsa-filtro a sedimentador1	5,30	8,06	7,04	0,29	0,34
2	trasvase aceite de balsa-filtro a sedimentador2	5,30	8,06	7,04	0,29	0,34
3	trasvase aceite de sedimentadores al tanque AVU sedim.	6,29	8,23	8,05	0,32	0,37
4	trasvase aceite de tanque AVU sedim. a centrífuga	3,29	6,48	4,21	0,20	0,33
5	trasvase aceite de centrífuga a tanque AVU centrifugado	4,47	7,51	5,70	0,30	0,41
6	carga de aceite al reactor	6,21	7,66	7,92	0,40	0,52
7	trasvase agua de unidad ósmosis a tanque de agua	2,10	5,46	2,98	0,90	0,10
8	carga agua al mezclador de disol. KOH	2,15	7,41	3,05	0,20	0,22
9	carga disol. KOH al reactor	3,51	5,58	6,29	0,20	0,22
10	carga disol. KCl al reactor	3,15	5,50	4,92	0,20	0,34
11	descarga reactor de jabón base a tanque	2,32	5,87	3,32	0,30	0,42
12	descargar reactor fase glicerina a tanque	20,46	15,10	32,32	0,10	0,12
13	carga jabón base al mezclador de terminado	1,58	4,63	2,26	0,21	0,21
14	carga agua al mezclador de terminado	2,59	6,63	3,68	0,42	0,53
15	descarga jabón líquido a tanque	0,67	3,71	0,97	0,23	0,26
16	de tanque jabón líquido a envasadora	1,51	6,26	2,17	0,25	0,31
17	vapor de caldera a sedimentador1	32,13	34,43	42,84	0,24	0,22
18	vapor de caldera a sedimentador2	32,13	34,43	42,84	0,20	0,24
19	vapor de caldera a reactor	2,17	39,08	2,81	0,15	0,17

Tabla A5.11: Cálculo de potencia y otras características de las bombas de la planta de proceso.

La bomba peristáltica seleccionada para el envasado de jabón líquido desde el tanque de almacenamiento de producto terminado a la envasadora, es la siguiente:



Figura A5.10: Bomba peristáltica serie ISI [8].

Y para las bombas centrífugas se ha seleccionado el siguiente modelo:



Figura A5.11: Bomba centrífuga serie 200 [9].

Características de las bombas centrífugas serie 200:

- Montaje directo exclusivo del eje del impulsor al motor para obtener la mayor rigidez y vida útil.
- Aplicable para un amplio rango de temperaturas, de hasta 450 °F (232 °C).
- Diseñada para limpieza en el lugar (CIP, por sus siglas en inglés).
- Motor más robusto con rodamientos de mayor tamaño y un eje más fuerte.
- Elimina los problemas de vibraciones, poca duración de los rodamientos, requisitos de baja carga neta positiva de succión, costes elevados de mantenimiento y poca tolerancia a las condiciones adversas de funcionamiento.

[8] www.realaxpumps.com

[9] www.spx.com

ANEJO 6.

SISTEMA DE CONTROL

DEL PROCESO

ÍNDICE ANEJO 6.

SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO

1.	INTRODUCCIÓN.....	241
2.	VARIABLES DE CONTROL EN EL PROCESO.....	241
3.	ELEMENTOS DE CONTROL.....	244
4.	LAZOS DE CONTROL DEL PROCESO	244

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del control en la industria, es mantener las variables del proceso en el punto de consigna deseado (“set point”), empleando controladores destinados a tal fin.

Un sistema de control automático de cualquier proceso está constituido por cuatro tipos de elementos básicos (visto en el punto 3.1 “Instrumentos de medida” del anejo 5 de “Instrumentación y tuberías”):

- **Sensor o medidor:** instrumento que mide la variable que se quiere controlar.
- **Transmisor o transductor:** es la señal del medidor, que es transformada en una señal eléctrica, neumática o digital, que pueda ser procesada por el controlador para calcular la acción de control.
- **Controlador:** aparato que calcula la acción de control de acuerdo con el algoritmo de control que se haya programado en él. Este cálculo se traduce en un valor determinado de la señal de salida que se envía al elemento final de control.
- **Actuador o elemento final de control:** elemento que manipula la variable de proceso de acuerdo con la acción calculada por el controlador.

2. VARIABLES DE CONTROL EN EL PROCESO

En la instalación objeto del presente proyecto resulta esencial controlar una serie de variables:

- Nivel de los tanques de sedimentación → durante el proceso de llenado de aceite de los tanques, se controlara el nivel del mismo en el interior de los tanques, de tal manera que cuando se alcance el nivel deseado el controlador ordene la parada de la corriente de entrada.
- Temperatura del aceite en los tanques de sedimentación → se requiere una determinada temperatura para que el proceso de sedimentación se vea favorecido. Para alcanzar dicha temperatura se emplea el vapor de calefacción procedente de la caldera de la planta, que circulará a través de los serpentines. Para el mantenimiento de esta temperatura en su punto de

consigna, será necesario instalar un lazo de control, de tal manera que la válvula de entrada de vapor se abra o se cierre en función de la temperatura que tenga el aceite en ese instante, para permitir la entrada de más o menos caudal de vapor saturado.

- Nivel del tanque mezclador de disolución de KOH (25%) → un lazo de control permite, a través de una célula de carga instalada en la base del tanque, conocer el momento en el que el nivel baja de un determinado valor, accionando una señal luminosa indicadora de bajo nivel, o bien el nivel alcanzado es máximo, accionando una señal luminosa de alto nivel; esto nos permitirá saber el momento en el que es necesario volver a realizar la disolución de KOH, que se agrega en estado sólido mediante una tolva, y el agua que proviene de la unidad de ósmosis; o bien abrir más la válvula para descargar más rápido la disolución al reactor.
- Flujo de disolución KOH (25%) que entra al reactor → se controlará el caudal de disolución de KOH de entrada al reactor, de tal manera que cuando se haya introducido todo el volumen requerido de la misma, dicho control haga que la válvula se cierre.
- Nivel de los tanques de almacenamiento → en general, todos los tanques de almacenamiento intermedio del proceso, bien sean de aceite, de jabón, de glicerina, de agua, etc., estarán provistos de un sensor de nivel, que envía una señal al controlador cuando el depósito alcanza un nivel determinado, de manera que el controlador ordena la parada de la corriente de entrada. Mediante señal luminosa se conocerá el momento en el que se alcanza el nivel mínimo de consigna.
- Flujo de agua desionizada que entra al reactor → se controlará el caudal de agua que entra en el reactor, de tal manera que cuando se haya introducido todo el volumen requerido dicho control haga que la válvula se cierre.
- Carga de aceite ($AVU_{\text{centrifugado}}$) al reactor → las células de carga instaladas en los perfiles de apoyo del reactor indican el momento en el que se produce el

llenado de aceite del reactor. Al alcanzar un peso especificado, la válvula de la conducción de entrada de aceite, se cierra por completo.

- Temperatura en el reactor → el reactor trabaja en el intervalo de 90 a 100°C, de manera que para llegar a este valor, se emplea el vapor saturado que proviene de la caldera, que circulará a través de la camisa de calefacción. La temperatura es una variable muy importante en este equipo, por ello, para mantenerla en su punto de consigna durante la reacción, se necesitará instalar un lazo de control de tal manera que la válvula de entrada a la camisa, se abra o cierre en función de la temperatura a la que se encuentre el reactor, para permitir la entrada de más o menos caudal de vapor.
- El pH en el reactor → esta medida de control es especialmente importante en aplicaciones industriales que incluyan una neutralización, ya que es importante que se mezclen bien los reactivos con el fluido/s a neutralizar. Es recomendable no tener velocidades superiores a 1,7 m/s, ya que velocidades demasiado altas pueden dar lecturas fluctuantes en la medición de pH y reducir la vida útil del electrodo. El reactor estará provisto de un sensor de pH, que envía una señal al controlador cuando el valor está por encima o por debajo de la consigna, mediante señal luminosa, para proceder a añadir más o menos agua en función de las necesidades de acidez o basicidad de la mezcla reaccionante.
- Carga de jabón al mezclador auxiliar → las células de carga instaladas en los perfiles de apoyo de mezclador auxiliar de jabón líquido y aditivos, indican el momento en el que se produce el llenado de jabón al mezclador. Al alcanzar un peso especificado, la válvula de la conducción de entrada de jabón, se cierra por completo.
- Flujo de agua desionizada que entra al mezclador auxiliar → se controlará el caudal de agua que entra al mezclador auxiliar, de tal manera que cuando se haya introducido todo el volumen requerido, dicho control haga que la válvula se cierre.

- Flujo de jabón líquido a la envasadora → se controlará el caudal de jabón líquido que pasa a la envasadora, de tal manera que cuando se haya introducido poco a poco el volumen requerido, dicho control hará que la válvula se cierre.

3. ELEMENTOS DE CONTROL

En los procesos químicos el elemento final de control más utilizado es la válvula automatizada. Existen numerosos tipos de válvulas para cubrir todas las aplicaciones que pueden presentarse en cualquier planta química. El tipo de válvulas seleccionadas se ha discutido en el punto 3.1 “Actuadores” del anejo 5 de “Instrumentación y tuberías”.

Una válvula de control tiene básicamente dos componentes, el cuerpo y el actuador [1].

- Cuerpo → están los elementos que realmente regulan el paso del fluido. Es un receptáculo con elementos internos que, al estar en contacto con el fluido, debe satisfacer los requerimientos de resistencia mecánica a la presión, resistencia a la temperatura y a la corrosión, propios de cualquier vasija o recipiente a presión de un proceso.

Los materiales constructivos suelen ser de fundición de hierro, acero al carbono o acero inoxidable, como es el caso de la instalación.

- Actuador → su misión es producir la fuerza necesaria para mover algunos elementos internos del cuerpo y provocar así un cambio en la abertura de la válvula.

Suele ser de acero inoxidable, al ser un material suficientemente resistivo para la mayoría de las aplicaciones.

4. LAZOS DE CONTROL DEL PROCESO

Como se comentó en el anejo 5, las válvulas de bola y de retención tipo aguja, son los seleccionados para su uso en la instalación. Se justifica porque:

- Las válvulas de bola se han seleccionado debido a los pequeños diámetros nominales de las conducciones y porque el servicio que se requiere es de

[1] Ollero de Castro, P. (1997). “Control e instrumentación de procesos químicos”. Ediciones Síntesis

apertura o cierre total de la corriente de fluido. En este caso son las válvulas de compuerta (todo-nada, bien sean manuales o automáticas) y las de 3 vías (división o unión).

Estas válvulas no son comunes para tamaños mayores de 6". Sus principales ventajas son:

- bajo coste
 - no necesitan un excesivo mantenimiento.
 - Actúan abriendo o cerrando completamente al paso de fluido, ya que no es recomendable regularlo abriendo o cerrando parcialmente.
-
- Las válvulas de retención se instalan para evitar la inversión del flujo en las líneas conectadas a bombas centrifugas, impidiendo que el fluido pueda regresar hacia las mismas. Estas válvulas son de funcionamiento automático y se mantienen abiertas por la presión del fluido que circula. El cierre se logra mediante el peso del mecanismo de retención o por la contrapresión cuando se invierte el flujo.

Los cuerpos de las válvulas serán de acero inoxidable A-351-CF8 y las partes internas serán de acero inoxidable 316, material más utilizado por su aceptable resistencia a la corrosión y a la erosión, y su fácil mecanizado.

En la siguiente tabla se resumen los lazos de control que se van a establecer en el proceso:

EQUIPO	VARIABLE A CONTROLAR	SET POINT	ELEMENTO FINAL DE CONTROL
Tanques de sedimentación	Nivel superior aceite	80% de su capacidad (20,61 m ³)	Válvula llenado de tanque
Tanques de sedimentación	Temperatura aceite	45 - 50°C	Válvula entrada vapor a tanques de sedimentación
Mezclador de disolución KOH (25%)	Nivel superior	80% de su capacidad (1,46 m ³)	Válvula llenado de tanque
Mezclador de disolución KOH (25%)	Nivel inferior	20% de su capacidad (0,82 m ³)	Alarma luminosa
Mezclador de disolución KOH (25%)	Caudal	4,18·10 ⁻⁴ m ³ /s	Válvula a la entrada
Tanques de almacenamiento de AVU	Nivel superior	80% de su capacidad (19,50 m ³)	Válvula llenado de tanque
Reactor	Nivel aceite	Masa de aceite necesaria para la reacción (2.500 kg/lote)	Válvula a la entrada
Reactor	Temperatura fluido	90-100°C	Sensor T ^a
Reactor	pH	9-10	Sensor de pH
Camisa reactor	Temperatura vapor	142°C	Válvula entrada vapor al reactor
Tanque almacenamiento de jabón	Nivel superior	80% de su capacidad (3,21 m ³)	Válvula llenado de tanque
Tanque almacenamiento de glicerina	Nivel superior	80% de su capacidad (1,99 m ³)	Válvula llenado de tanque
Mezclador auxiliar	Caudal jabón	9,29·10 ⁻⁴ m ³ /s	Válvula a la entrada
Mezclador auxiliar	Caudal agua	7,42·10 ⁻⁴ m ³ /s	Válvula a la entrada
Tanque almacenamiento jabón líquido	Nivel superior	80% de su capacidad (6,27 m ³)	Válvula llenado de tanque
Envasadora	Caudal jabón líquido	8,66·10 ⁻⁴ m ³ /s	Válvula a la entrada

Tabla A6.1: Variables a controlar en el proceso.

ANEJO 7.

DISTRIBUCIÓN EN

PLANTA

ÍNDICE ANEJO 7.

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

1. INTRODUCCIÓN.....	249
1.1. FACTORES DE PRODUCCIÓN	249
2. RESOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.	253
2.1. DEFINICIÓN	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1. Análisis P-Q.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2. Análisis del recorrido de los productos	256
2.2. ANÁLISIS.....	257
2.2.1. Análisis de las relaciones entre actividades	257
2.2.2. Diagrama relacional de recorridos y/o actividades	259
3. CONSTRUCCIÓN Y ELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.	260
4. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	265
4.1. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	¡Error! Marcador no definido.
5. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1. INTRODUCCIÓN

La producción consiste en la interacción conjunta de personas, material y maquinaria en un sistema ordenado que permita maximizar los beneficios. La localización y distribución de los equipos en la instalación tiene una gran importancia en cuanto a la eficiencia del proceso. Por tanto, los principales objetivos que persigue una buena distribución en planta son:

- la integración conjunta de todos los factores que afectan a la distribución.
- el movimiento del material según distancias mínimas.
- la circulación del trabajo a través de la planta.
- la utilización efectiva del espacio necesario o disponible.
- la satisfacción y seguridad de los trabajadores.
- y la flexibilidad en la ordenación para facilitar ajustes, reordenaciones e imprevistos.

Para obtener la distribución en planta más óptima es necesario conocer los elementos y particularidades de cada factor de producción, su ordenación, y los procedimientos y técnicas que le afecten. Para ello se ha realizado un estudio de cada uno de los factores que repercuten en la misma ^[1].

1.1. FACTORES DE PRODUCCIÓN

- **Factor material:** es el factor más importante. El objetivo de la producción es transformar unas materias primas de forma que se cambien sus características, hasta un producto final.

Los elementos más importantes que influyen en este sentido son:

- Materias primas.
- Productos químicos necesarios en pre y pos tratamientos.
- Productos intermedios.
- Producto finalizado.
- Producto embalado.
- Materiales para el mantenimiento y reparación de equipos.
- Productos necesarios para la limpieza de la planta.
- Energía eléctrica.

[1] Rubí, J. (2010). "Apuntes de Proyectos". Universidad de Almería.

Las consideraciones a tener en cuenta están relacionadas con la forma, tamaño, volumen y cantidad de las materias con las que se trabaje.

- **Factor maquinaria:** importante para la ordenación dentro de la instalación.

Los elementos más importantes que influyen en este caso son:

- Instrumentación de laboratorio.
- Herramientas de mano de obra.
- Aparatos de análisis y control.
- Cuadros de control.
- Maquinaria de elaboración.
- Maquinaria de tratamiento.
- Maquinaria de mantenimiento.
- Maquinaria de limpieza.
- Maquinaria de transporte.
- Ordenadores de despachos.
- Maquinaria de repuesto.

Y las consideraciones guardan relación con el tamaño, la cantidad, la energía necesaria, las averías y la evolución de la tecnología.

- **Factor trabajador:** como factor de producción, el trabajador (o factor persona) es más flexible que cualquier material o maquinaria, ya que se le pueden asignar varios trabajos o enseñarle nuevas funciones, entre otros. En referencia a las condiciones de trabajo, la distribución debe ser lo más confortable y segura posible para los operarios, jefe de planta, y demás personal de la fábrica.

Los elementos a tener en cuenta son:

- Mano de obra no especializada y mano de obra especializada (técnicos).
- Encargados y supervisores.
- Personal de administración y recursos humanos.
- Directivos.

Las consideraciones más importantes a tener en cuenta para el trabajador tienen que ver con condiciones de seguridad e higiene en el trabajo, las necesidades de mano de obra, la forma y calidad del trabajo, ergonomía, turnos, convenios laborales, descansos, etc.

- **Factor movimiento:** es importante tener en cuenta este factor para los tres elementos básicos de la producción descritos anteriormente (materiales, maquinaria y trabajador). En este sentido los movimientos más importantes son los de materiales (materias primas, productos acabados e intermedios, subproductos, etc.).

Elementos a tener en cuenta: rampas, tuberías, transportadoras de materiales, carretillas, camiones, comunicaciones, correos y mensajería, etc.

Y consideraciones tales como el espacio, la forma y el sentido.

- **Factor espera:**

Elementos:

- Recepción de materias primas.
- Almacenaje de los productos de post-tratamiento.
- Depósitos dentro del proceso.
- Depósitos de productos terminados.
- Almacén de productos terminados.
- Almacén de productos en cuarentena.
- Almacén de equipos de repuesto.

Consideraciones: espacio y método de almacenaje.

- **Factor servicio:** también está relacionado con los 3 factores anteriores, el material, la maquinaria y el personal.

- *Relativo al personal:*

- Vías de acceso.
- Oficinas.
- Servicios y vestuarios.
- Equipos para uso del personal.
- Instalaciones de seguridad.
- Botiquín.
- Iluminación.
- Ventilación y calefacción.
- Salidas de emergencia.

- *Relativo al material:*

- Controles de calidad.
- Control de producción.

- Control de rechazo o de residuos.
- *Relativo a la maquinaria:*
 - Mantenimiento.
 - Servicios auxiliares.
 - Protección contra incendios.
- **Factor edificio:** algunas industrias pueden operar en cualquier edificio industrial, en cambio otras requieren de estructuras especialmente diseñadas para albergar operaciones más específicas.
 - *Elementos:*
 - Sótanos o altillos.
 - Ventanas.
 - Suelos.
 - Cubiertas y techos.
 - Paredes y pilares o columnas.
 - Ascensores, montacargas, escaleras, etc.
 - *Consideraciones:*
 - De nueva construcción o reutilizado.
 - Edificio especial o de uso general.
 - N° de plantas.
 - Forma.
- **Factor cambio:** las condiciones de trabajo están ligadas estrechamente a los cambios y la distribución en planta debe facilitarlos en la medida de lo posible. Básicamente los elementos a tener en cuenta en este caso derivan de cualquier modificación de las contempladas en alguno de los factores anteriores.
 - *Consideraciones:*
 - Cambios en los materiales: diseño del producto, materiales, demanda, variedad, etc.
 - Cambios en la maquinaria.
 - Cambios en el personal: horarios, organización, etc.
 - Cambios en las actividades auxiliares: manejo, almacenamiento, servicios.
 - Cambios externos y limitaciones debidas a la instalación.

2. RESOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Para el análisis y propuesta de alternativas de distribución en planta se aplica el procedimiento SLP (Systematic Layout Planning), desarrollado por Richard Muther en 1961, y siendo el primer procedimiento verdaderamente multicriterio sistemático relativamente simple. El método es aplicable a problemas de distribución en instalaciones industriales, locales comerciales, hospitales, etc. Establece una serie de fases y técnicas que, permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos.

El SLP pretende obtener, a través de un proceso de varias etapas (figura A7.1

Figura), una distribución válida como solución al problema planteado. Además de las relaciones entre las diferentes actividades, es necesario conocer como información de entrada para aplicar el método, cinco tipos de datos:

- Producto (P): se considera como producto también a los materiales (materias primas, piezas adquiridas a terceros, productos en curso, producto terminado, etc.).
- Cantidad (Q): de producto o material tratado, transformado, transportado, montado o utilizado durante el proceso.
- Recorrido (R): secuencia y el orden de las operaciones a las que deben someterse los productos.
- Servicios (S): engloba los servicios auxiliares de producción, los servicios para el personal, etc.
- Tiempo (T): unidad de medida para determinar las cantidades de producto o material (medidos habitualmente en unidad de masa o volumen por unidad de tiempo).

Esta información es el punto de partida del proceso, y de la calidad de la misma depende el éxito en la búsqueda de soluciones al problema de distribución. La primera de las fases de aplicación del SLP es el análisis producto-cantidad [1].

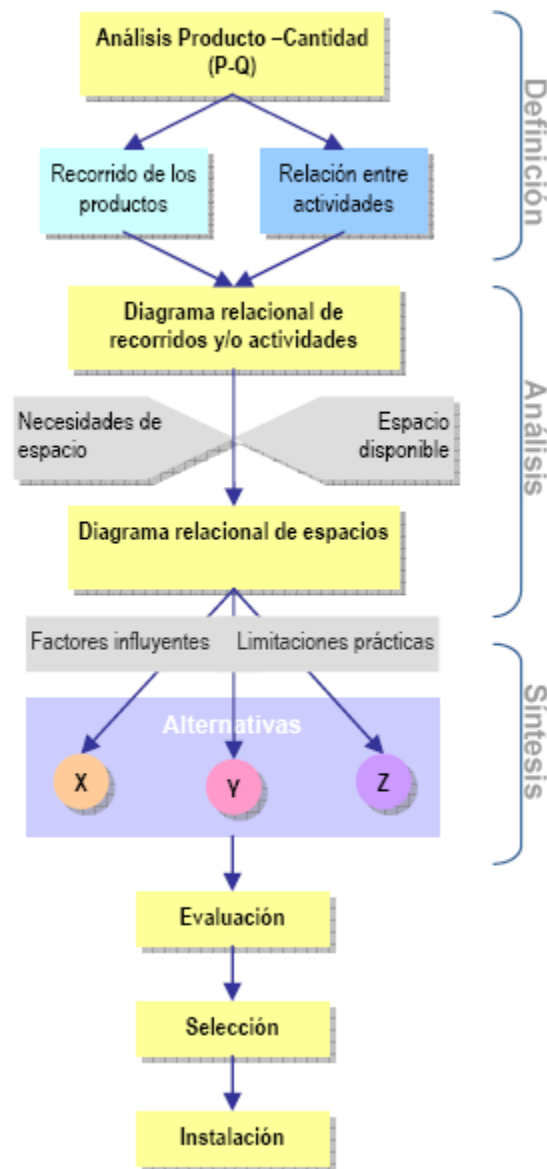


Figura A7.1: Esquema del procedimiento SLP.

2.1. ANÁLISIS P-Q

El análisis de la información de productos y cantidades es el punto de partida del método. A partir de este análisis es posible determinar el tipo de distribución adecuada para el proceso objeto de estudio.

Muther recomienda la elaboración de una gráfica en forma de histograma de frecuencias, en la que se representen en abscisas los diferentes productos a elaborar y en ordenadas las cantidades de cada uno. Los productos deben ser representados en la gráfica en orden decreciente de cantidad producida. En función del tipo de

histograma resultante es recomendable la implantación de un tipo u otro de distribución (figura A7.2).

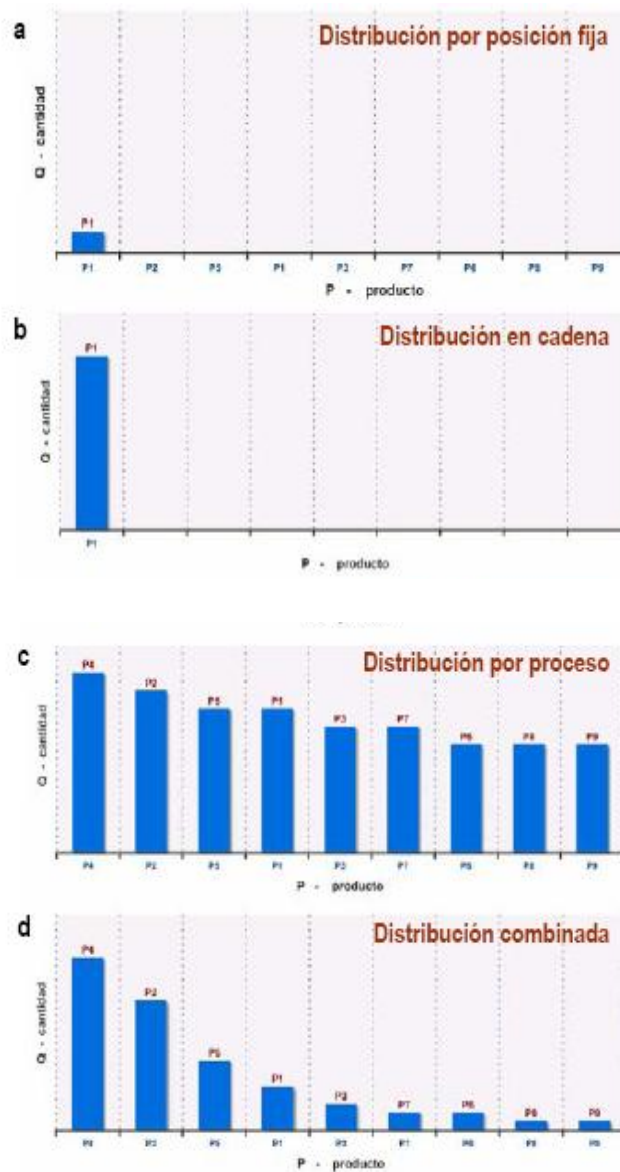


Figura A7.2: Forma habitual de las gráficas P-Q para cada tipo de distribución en planta.

En el caso (a) de la figura A7.2, en el que se produce una sola unidad de un único producto, la distribución adecuada e inevitable, es de posición fija, suponiendo que se trata de un proyecto de gran envergadura. La gráfica (b) hace recomendable una distribución en cadena. Este tipo de gráficas en las que pocos productos ocupan la mayor parte de la producción (principio de Pareto), indican series largas de producción homogénea, lo que hace recomendable distribuciones orientadas al producto. La

existencia de gran diversidad de productos con niveles de producción similares (c), aconsejarían una distribución de mayor flexibilidad orientada al proceso. Por último, situaciones como la señalada en la gráfica (d), pueden afrontarse con distribuciones mixtas.

El caso que estamos planteando en este proyecto correspondería con la situación (b), en la que se produce un único producto en gran cantidad, por lo que se hace recomendable una distribución en cadena. Ésta permite reducir tiempos de fabricación, minimizar el trabajo en curso y el manejo de materiales. Como inconvenientes de la elección realizada, se pueden citar la falta de flexibilidad, la gran inversión requerida, la poca tolerancia a fallos del sistema (la parada de una máquina puede parar toda la cadena) y la monotonía del trabajo para los operarios.

2.2. ANÁLISIS DEL RECORRIDO DE LOS PRODUCTOS

Se trata en esta fase de determinar la secuencia, la cantidad y el coste de los movimientos de los productos por las diferentes operaciones durante su procesado. A partir de la información del proceso productivo y de los volúmenes de producción, se elaboran gráficas y diagramas descriptivos del flujo de materiales. Estos pueden ser principalmente de tres tipos:

- Diagramas de recorrido sencillo → se producen muy pocos productos (o uno sólo) en cantidades pequeñas. En ellos se reflejan con exactitud los recorridos de cada producto en cada etapa o proceso.
- Diagramas multiproducto → adecuados cuando se producen pocos productos. En ellos se indica únicamente la secuencia de operaciones a la que se somete cada pieza o producto.
- Tablas matriciales → se emplean en el caso de producir gran cantidad de productos.

Como en la instalación del presente proyecto se produce un único producto se va a utilizar un diagrama de recorrido sencillo, tal y como se muestra en la figura A7.3.

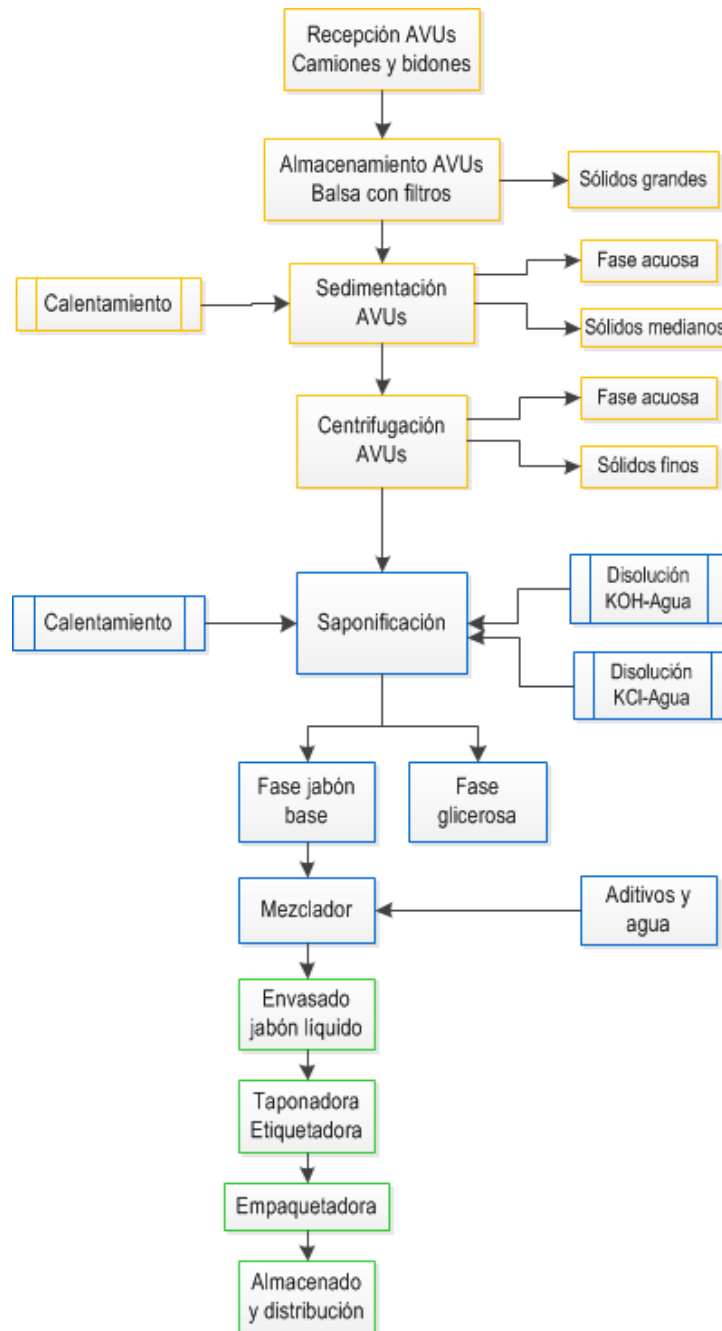


Figura A7.3: Diagrama del recorrido del producto.

2.3. ANÁLISIS DE LAS RELACIONES ENTRE ACTIVIDADES

Conocido el recorrido de los productos, el proyectista debe plantearse el tipo e intensidad de las interacciones existentes entre las diferentes actividades productivas, los medios auxiliares, los sistemas de mantenimiento y los diferentes servicios de la planta. Estas relaciones no se limitan a la circulación de materiales, pudiendo ser ésta

Entre otros aspectos, se deben considerar en esta etapa las exigencias constructivas, ambientales, de seguridad e higiene, los sistemas de mantenimiento necesarios, el abastecimiento de energía y la evacuación de residuos, la organización de la mano de obra, los sistemas de control del proceso, los sistemas de información, etc. Esta información resulta de vital importancia para poder integrar los medios auxiliares de producción en la distribución de una manera racional. Para poder representar las relaciones encontradas de una manera lógica y que permita clasificar la intensidad de dichas relaciones, se emplea la tabla relacional de actividades (figura A7.4), consistente en un cuadro organizado en diagonal, en el que quedan plasmadas las necesidades de proximidad entre cada actividad que tiene lugar en el proceso productivo. Es habitual expresar estas necesidades mediante el código de 6 letras representado en la tabla de la figura A7.4. En la práctica, el análisis de recorridos expuesto en el apartado anterior se emplea para relacionar las actividades directamente implicadas en el sistema productivo, mientras que la tabla relacional permite integrar los medios auxiliares de producción.

2.3.1. Diagrama relacional de recorridos y/o actividades

La información recogida hasta el momento, referente tanto a las relaciones entre las actividades como a la importancia relativa de la proximidad entre ellas, es recogida en un diagrama que Muther denomina Diagrama relacional de recorridos y/o actividades. Éste pretende recoger la ordenación topológica de las actividades en base a la información de la que se dispone.

El diagrama es un gráfico donde se representan las actividades mediante nodos unidos por líneas. Las líneas expresan la existencia de algún tipo de relación entre las actividades unidas. La intensidad de la relación quedará reflejada mediante el correspondiente código (figura A7.4). La ordenación del gráfico se realiza de manera que se minimice el número de cruces entre las líneas que representan las relaciones entre las actividades, o por lo menos entre aquellas que representen una mayor intensidad relacional. De esta forma, se trata de conseguir distribuciones en las que las actividades con mayor flujo de materiales estén lo más próximas posible, cumpliendo el principio de la mínima distancia recorrida; y en las que la secuencia de

las actividades sea similar a aquella con la que se tratan, elaboran o montan los materiales, principio de la circulación o flujo de materiales.

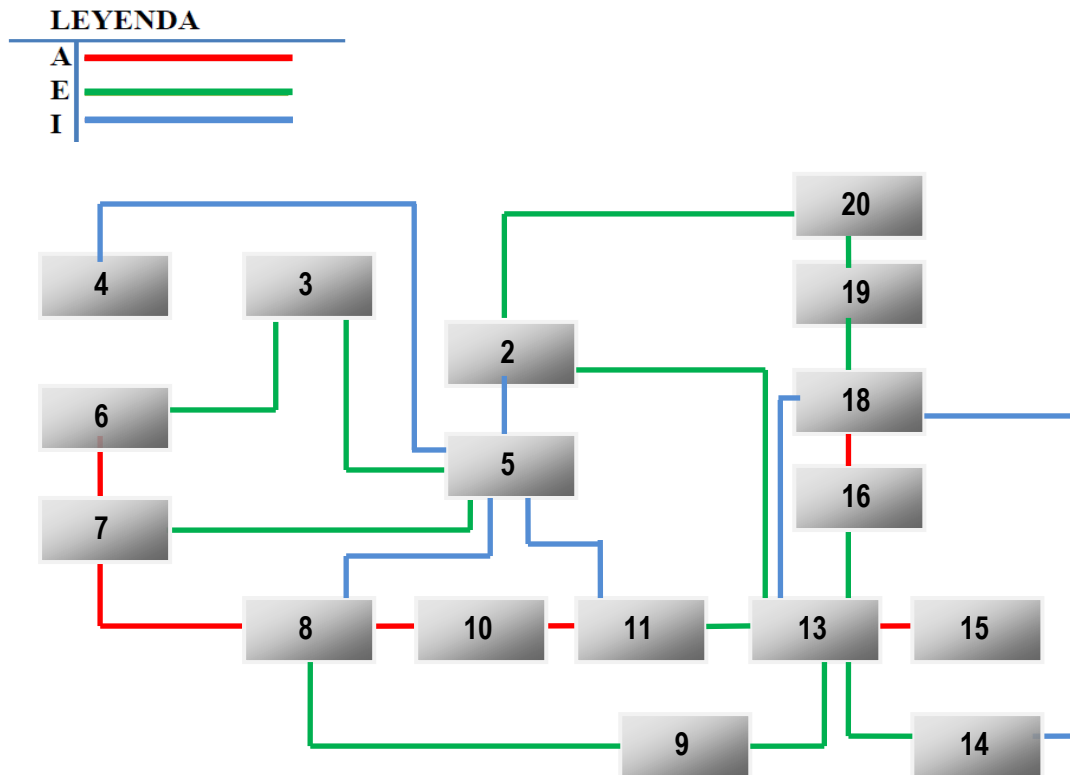


Figura A7.5: Diagrama relacional de actividades.

En la figura A7.5 se han representado las relaciones más importantes de todas las actividades desarrolladas durante el proceso productivo para conseguir la distribución más óptima para conseguir que las actividades con mayor flujo de materiales estén lo más próximas posible, cumpliendo el principio de la mínima distancia recorrida.

3. CONTRUCCIÓN Y ELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El siguiente paso en el proceso es la creación de distintas alternativas de distribución en planta para evaluarlas de acuerdo a una serie de criterios y poder elegir opción más correcta.

La construcción de las distintas alternativas se debe realizar en base al diagrama relacional de recorridos y/o actividades (figuras A7.4 y A7.5). Teniendo en cuenta esto las alternativas a evaluar son las siguientes:

• Alternativa A:

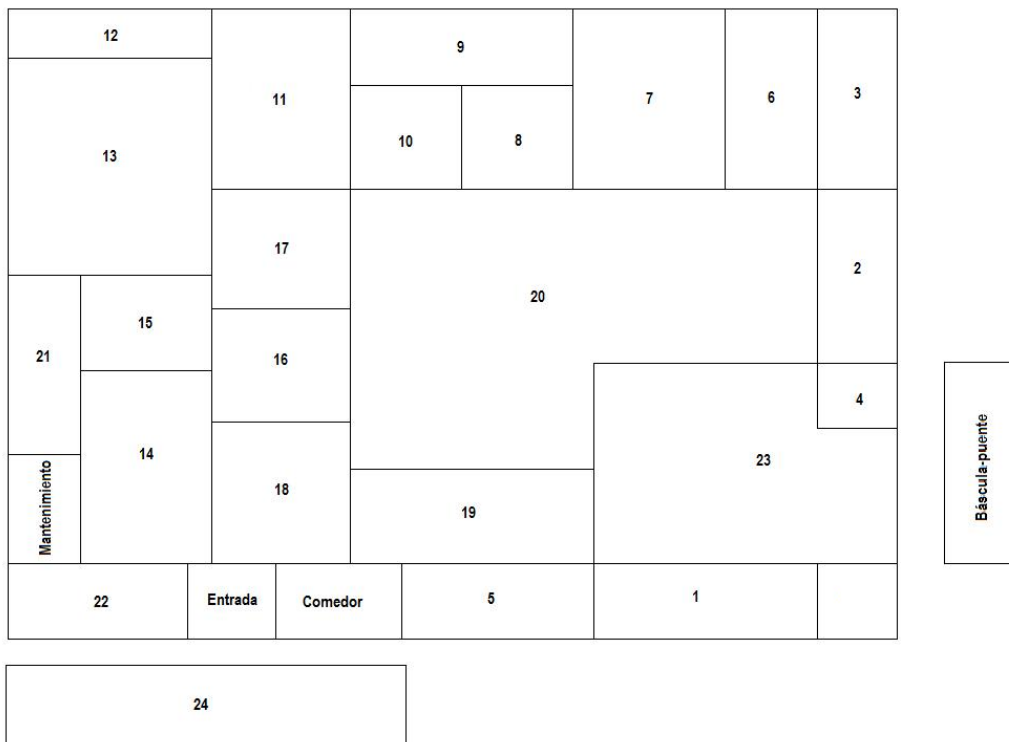


Figura A7.6: Distribución en planta de la alternativa A.

• Alternativa B

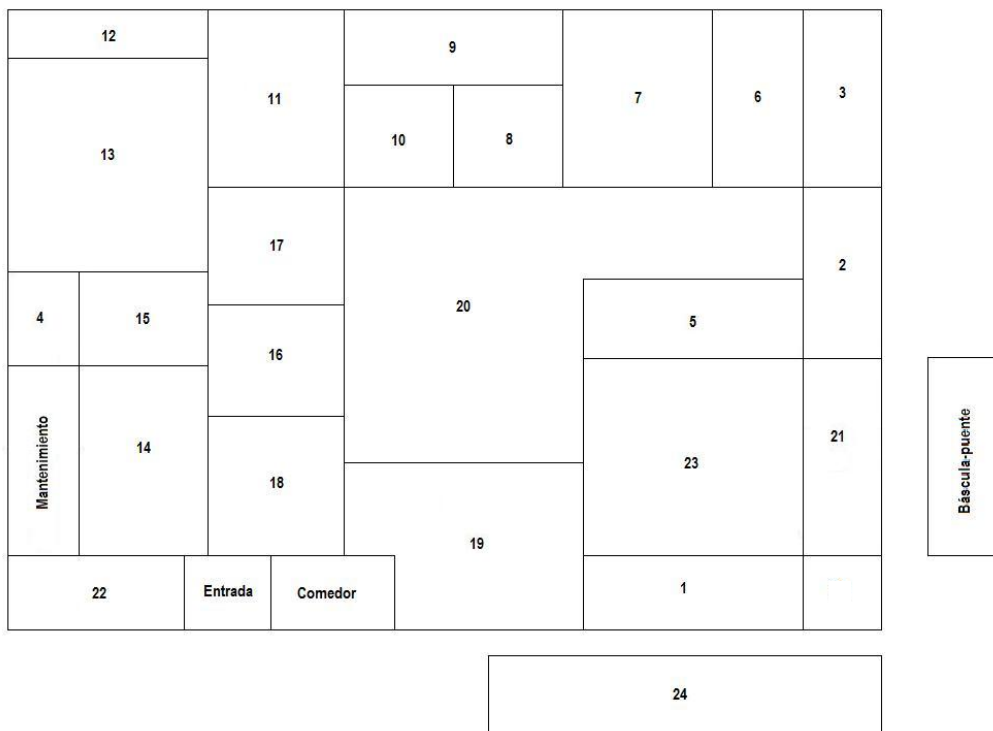


Figura A7.7: Distribución en planta de la alternativa B.

- Alternativa C

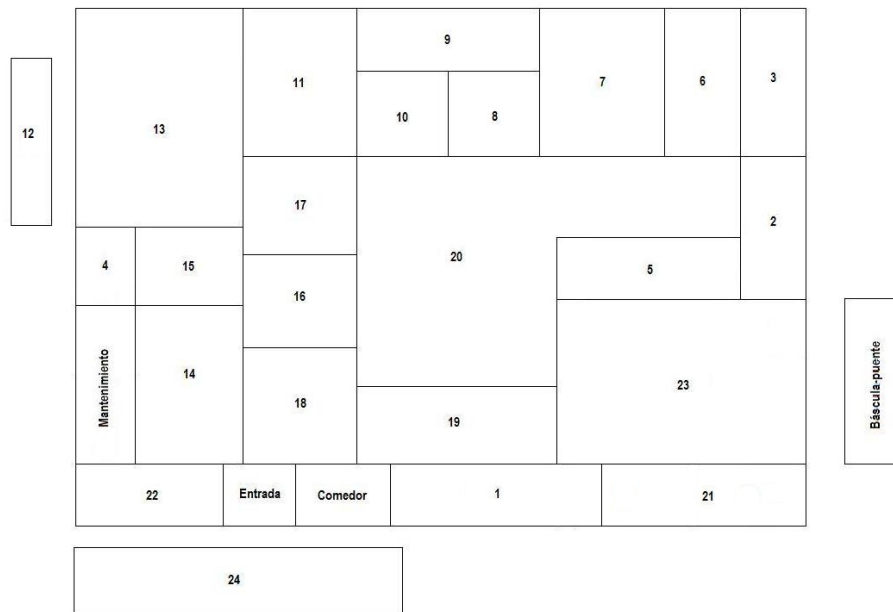


Figura A7.8: Distribución en planta de la alternativa C.

La elección de la mejor alternativa se realiza mediante una evaluación multicriterio, utilizando el método de permutaciones sucesivas, que plantea diversas permutaciones entre las distintas alternativas, indicando índices de concordancia (+) y discordancia (-) en base a la suma algebraica de los pesos. Finalmente se elige como alternativa óptima, la permutación que tenga el mayor valor global. Se han propuesto tres alternativas de distribución (fig. A7.6, A7.7 y A7.8). Para elegir la alternativa, se establecen 5 criterios:

Criterio	Peso	Escala de evaluación
I. Continuidad del proceso productivo	35%	1-10
II. Agrupación de áreas de mayor higiene	20%	Bueno, regular, malo
III. Aprovechamiento del espacio	10%	B, R, M
IV. Facilidad de trabajo. Accesos de personal y maquinaria	20%	1-10
V. Principio del mínimo movimiento posible	10%	B, R, M
VI. Flexibilidad/adaptabilidad a cambios	5%	1-10

Tabla A7.1: Criterios, pesos y escalas de evaluación.

En la tabla A7.2 se recogen todos los valores de cada criterio asignados a las tres distribuciones anteriores.

	Criterios					
	I	II	III	IV	V	VI
<i>Pesos</i>	0,35	0,20	0,10	0,20	0,10	0,05
Alternativa A	8	R	R	7	R	6
Alternativa B	7	R	R	6	B	6
Alternativa C	7	B	B	7	B	6

Tabla A7.2: Valores de la evaluación multicriterio.

Explicación de la asignación de cada peso a cada criterio:

- **Criterio I:** Continuidad del proceso productivo → se le han asignado valores del 1 al 10, siendo el 1 el peor y 10 el mejor valor. La alternativa con mejor continuidad en el proceso productivo es la A.
- **Criterio II:** Agrupación de áreas de mayor higiene → se valora que las áreas de mayor higiene estén lo más estériles posible y que no haya flujo de material externo que pueda contaminarlas. Es importante en el proceso de saponificación, sobre todo y en relación al desecho de residuos. Se ha valorado como bueno, regular o malo.
- **Criterio III:** Aprovechamiento del espacio, inexistencia de espacios vacíos sin utilización → se ha valorado que no queden espacios vacíos en la instalación. En este caso el mayor peso se lo ha llevado la alternativa C.
- **Criterio IV:** Accesos de personal y maquinaria → teniendo en cuenta las áreas anteriormente calculadas, es decir, se le ha dado una mayor puntuación a aquel que aprovecha mejor el espacio teniendo en cuenta estas áreas.
- **Criterio V:** Principio de mínimo movimiento → se ha valorado para el caso de la recepción de materias primas y la expedición de producto terminado.
- **Criterio VI:** Adaptabilidad a cambios → es el que criterio que menor valor tiene. Se refiere a ampliaciones próximas de la fábrica, o ampliación a un turno más. Por tanto en todos los casos se ha obtenido el mismo valor.

Con esta información se calculan los índices de concordancia (C_{ij}), como la suma de los pesos de los criterios para los cuales la alternativa i tiene mayor o igual puntuación que la alternativa j y los índices de discordancia (D_{ij}), como la suma de los

pesos de los criterios para los cuales la alternativa j tiene mayor o igual puntuación que la alternativa i (tabla 3). Es decir, se comparan las alternativas 2 a 2.

Concordancia (C_{ij})

Alternativa	A	B	C
A		0,90	0,60
B	-0,90		0,50
C	-0,60	-0,50	

Discordancia (D_{ij})

Alternativa	A	B	C
A		-0,45	-0,65
B	0,45		-1,00
C	0,65	1,00	

Tabla A7.3: Cálculo de los índices de concordancia y discordancia.

Obtenidos los valores de índices de concordancia y discordancia ya se pueden calcular los índices de preferencias de las alternativas i_j (P_{ij}). El valor de los P_{ij} se obtendrá de la suma de los C_{ij} y D_{ij} calculados en la tabla A7.3.

Preferencias ($P_{i,j}$)

Alternativa	A	B	C	total
A		0,45	-0,05	0,40
B	-0,45		-0,50	-0,95
C	0,05	0,50		0,55

Tabla A7.4: Cálculo de los índices de preferencia.

Ya que tenemos los valores de los índices de preferencia, se comparan los totales, y se seleccionan los mayores valores positivos:

$P_{A,B}=0,45$ y $P_{C,B}=0,50$; quedando el orden de preferencia de las alternativas como $C>A>B$. A la vista de lo obtenido con la evaluación multicriterio se ha seleccionado la alternativa C (figura A7.8).

Atendiendo a la figura A7.8, que corresponde con la alternativa seleccionada (distribución C), el área para la planta de producción sería de 1.050 m² (35x30), como se puede ver en el plano N°2.

A este área hay que añadirle la zona de recepción de materia prima, la de almacenado de producto terminado, la zona de expediciones, etc., obteniéndose así el área total de la parcela.

Zona	Área (m²)
Recepción materia prima	356
Almacén producto terminado	90
Zona de expediciones	169
Aparcamientos	128
Oficina, vestuarios, baños, entrada, comedor, almacén repuestos, sala de control	211
Planta de producción	1.050
Otros	89
Total	2.093

Tabla A7.5: Cálculo del área mínima de parcela.

A la vista de la tabla A7.5 es necesaria un área mínima de parcela de 2.093 m². Como nuestro terreno tiene 2.320 m² de superficie sin construir, es suficiente. Además en un futuro se podrían planificar ampliaciones de la fábrica, por aumento de la producción o por incorporación de líneas de negocio alternativas, por ejemplo, fabricación de detergentes, champús, jabones en pastilla (de tocador), u otro tipo de producto cosmético.

ANEJO 8.

SEGURIDAD E

HIGIENE INDUSTRIAL

ÍNDICE ANEJO 8.

SEGURIDAD INDUSTRIAL

1.SEGURIDAD INDUSTRIAL	270
1.1.LA SEGURIDAD LABORAL	270
1.2.ACCIDENTES GRAVES	271
2.FACTORES DE RIESGO	272
2.1.INSTALACIONES GENERALES	272
2.2.INSTALACIONES DE SERVICIO	272
2.3.INSTALACIONES DE SEGURIDAD	272
2.4.OPERACIONES DE MANUTENCIÓN	272
2.5.MÁQUINAS	272
2.6.HERRAMIENTAS PORTÁTILES	272
2.7.RECIPIENTES A PRESIÓN	273
2.8.EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL.....	273
2.9.TRABAJOS CON RIESGOS ESPECIALES	273
2.10.CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES	273
2.11.CARGA DE TRABAJO	273
3.SEGURIDAD APLICADA A LAS MÁQUINAS	273
3.1.PROTECCIÓN DE MÁQUINAS.....	273
3.2.PELIGROS GENERADOS POR LAS MÁQUINAS	274
3.3.MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS Y EQUIPOS	274
4.SEGURIDAD APLICADA A LOS EQUIPOS	275

4.1.FERMENTADORES Y TANQUES	275
4.2.APERTURA DE EQUIPOS.....	275
4.3.ENTRADA DE OPERARIOS EN TANQUES. DEPÓSITOS U OTROS RECIPIENTES	276
4.4.TRABAJOS DE REPARACIÓN	277
5.RIESGOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES	277
5.1.PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	278
5.2.SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA. DISEÑO	278
5.3.ESTRUCTURA Y TIPO DE MATERIAL A EMPLEAR.....	278
5.4.ORGANIZACIÓN INTERNA	279
5.5.PROCESO DE PRODUCCIÓN	279
5.6.MEDIDAS GENERALES	279
5.7.SISTEMAS DE DETECCIÓN Y ALARMA	280
5.8.EQUIPOS Y MEDIOS DE EXTINCIÓN	280
5.9.AGENTES EXTINTORES	280
5.10.SISTEMAS DE EXTINCIÓN	281
6.RIESGO ELÉCTRICO.....	282
6.1.INFORMATIVAS.....	282
6.2.DE SEGURIDAD DE PROTECCIÓN	282
6.2.1.Individuales	282
6.2.2.De instalación.....	282
7.RIESGOS DERIVADOS DEL USO DE PRODUCTOS QUÍMICOS.....	283
7.1.ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS.....	283
7.2.MANIPULACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS	284
8.CONTROL DE PERSONAS Y VEHÍCULOS.....	284

8.1.CONTROL DE LAS PERSONAS.....	284
8.2.CONTROL DE VEHÍCULOS	285
9.PROTECCIÓN INDIVIDUAL.....	286
9.1.PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE A RIESGOS MECÁNICOS	286
9.1.1.Protección del cráneo	286
9.1.2.Protección de las extremidades.....	286
9.2.PROTECCIÓN INTEGRAL.....	287
9.2.1.Ropa de protección.....	287
9.2.2.Protección contra caídas de altura	287
9.3.PROTECCIÓN COLECTIVA	287
9.3.1.Redes de seguridad.....	287
9.3.2.Redes elásticas	287
10.LEGISLACIÓN Y NORMATIVA.....	288

1. SEGURIDAD INDUSTRIAL

1.1. SEGURIDAD LABORAL

El ámbito correspondiente a los profesionales suele denominarse seguridad laboral u ocupacional. Lógicamente, en este campo se trata de proteger al profesional, y de ahí la importancia que adquieren las organizaciones, entidades o institutos dedicados a velar por la seguridad de los trabajadores. Ello sin embargo no debe hacer olvidar que es el origen del riesgo, lo que provoca la necesidad de articular una seguridad ocupacional; pues de lo contrario las disposiciones legales al efecto se limitarían a declaraciones de objetivos y de buena voluntad, pero no podrían descender a cuestiones prácticas que realmente sirvieran para proteger a los profesionales. En este caso, en el pináculo de la pirámide normativa aparecen una o varias leyes generales de protección, que ante todo piden la limitación de efectos sobre los profesionales, obligan a mantener unas determinadas estructuras de seguridad, y contemplan un régimen sancionador para actuar contra los individuos o las empresas que transgredan estos principios legales. En España ese papel lo cumple la ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995).

Bajo estas leyes aparecen los Reglamentos (en España a nivel de Real Decreto) que implican una normativa obligatoria, por lo general estrictamente limitada a los aspectos de seguridad y protección. En muchos casos esta normativa impone valores mínimos o máximos a magnitudes fácilmente mensurables, con objeto de limitar los efectos de una manera práctica y efectiva. Tal es el concepto, por ejemplo, de las concentraciones máximas permisibles de productos tóxicos, bien químicos, bien radiactivos.

Adicionalmente existen unas normas voluntarias y unos códigos de práctica aplicables a los diversos sectores industriales y generados tanto por asociaciones profesionales como por la propia empresa que los impone. Las normas voluntarias contienen un conjunto mucho más detallado de prescripciones y disposiciones que sirven para concretar la normativa obligatoria a un puesto específico de trabajo. En algunos casos ello constituye la esencia de los planes de prevención (internos y de puestos específicos), y de los planes de emergencia que por lo común son requeridos por las leyes generales de protección.

1.2. ACCIDENTES GRAVES

Un ámbito de la Seguridad Industrial lo conforma todo lo relativo a los accidentes mayores o graves, entendiendo por éstos los que repercuten en el público en general o al medio ambiente humano, con emisión de sustancias tóxicas fuera de las instalaciones industriales, o con emisión de energía en cantidades anormales. La emisión de energía suele ir acompañada en estos casos de fenómenos peligrosos tales como detonaciones, deflagraciones e incendios. En numerosas ocasiones, la existencia de estas emisiones energéticas estimula la dispersión de los agentes tóxicos y por tanto contribuye a dar una mayor proporción catastrófica a un determinado accidente.

La búsqueda de seguridad es una lógica aspiración humana, pero un planteamiento extralimitado que exigiera la seguridad absoluta provocaría la parálisis de la sociedad, pues ni a los transportes, ni a la electricidad, ni a los productos químicos se les puede exigir un riesgo cero. Ahora bien, la holgura de inseguridad que cabe permitir debe ser muy pequeña, y en verdad así es, tomando como referencia los riesgos derivados de las afecciones y alteraciones biológicas y los derivados de catástrofes y accidentes naturales. Esa preocupación por limitar los efectos dañinos de las aplicaciones industriales ha llevado a fijar una serie de criterios de protección, convertidos a leyes, decretos, etcétera, según la estructuración del ordenamiento jurídico.

La protección en cuestión cabe estructurarla o considerarla a tres niveles:

- La seguridad laboral, para proteger a las personas profesionalmente expuestas a diversos riesgos, que en España tiene como vértice legislativo la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- La seguridad individual del público asociada a la comercialización de productos y servicios industriales, y que en el ámbito del Mercado Interior de la U.E. se implanta gracias a las Directivas comunitarias, al mercado CE y a las campañas de Control de Productos Industriales.
- La seguridad colectiva de la población (incluyendo el medio ambiente) para prevenir los daños causados por Accidentes Mayores. En esto último también existen Directivas comunitarias, particularmente las denominadas Seveso I y II.

2. FACTORES DE RIESGO

2.1. INSTALACIONES GENERALES

Estado de locales y pisos, escaleras (tipo, uso, estado, etc.), pasillos y superficies de tránsito, puertas y aberturas en paredes, separaciones entre máquinas, orden y limpieza, señalización, iluminación general, condiciones climáticas: ventilación.

2.2. INSTALACIONES DE SERVICIO

Instalación eléctrica: Estado, tensión máxima, protecciones, etc.

Instalación de agua: Estado, proximidad de canalizaciones eléctricas.

Instalaciones de gases: Instalaciones fijas, recipientes a presión.

2.3. INSTALACIONES DE SEGURIDAD

Instalaciones de incendio: Bocas hidrantes, sistemas automáticos de detección y/o extinción, salidas de evacuación: estado, número, tipo; extintores, personal del servicio, mantenimiento de instalaciones, simulacros, etc.

2.4. OPERACIONES DE MANUTENCIÓN

Manipulación manual: Transporte de cargas → forma y cargas máximas.

Levantamiento de cargas: frecuencia y formas → almacenamiento: sistema y ubicación.

Transporte mecánico: Carretillas elevadoras, aparatos y equipos elevadores → montacargas, puentes-grúa, etc., cintas transportadoras.

Maniobras: Paso de cargas sobre personas.

Almacenamiento.

2.5. MÁQUINAS

Características técnicas, antigüedad, sistemas de seguridad, métodos de trabajo, puntos de operación: accesibilidad, frecuencias de las operaciones, número de operarios por máquina, periodicidad del mantenimiento preventivo.

2.6. HERRAMIENTAS PORTÁTILES

Manuales: Estado, utilización y almacenamiento.

Eléctricas: Estado, tensión de alimentación, utilización y protecciones.

2.7. RECIPIENTES A PRESIÓN

Calderas, compresores, estado de conservación, instalaciones, comprobación de pérdidas y fugas, protecciones.

2.8. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Existencia, marcado CE, estado y conservación.

2.9. TRABAJOS CON RIESGOS ESPECIALES

Trabajos en altura, soldadura, manejo de sustancias tóxicas y peligrosas, exposición a radiaciones: tipo y tiempo de exposición.

2.10. CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES

Vapores, humos, gases, polvos, ruido (tipo, niveles, tiempo de exposición), vibraciones.

2.11. CARGA DE TRABAJO

Esfuerzos, cargas, posturas, nivel de atención, tipo de jornada, ritmo, automatización, etc.

A partir de esta lista se detectan los peligros y se estiman los riesgos, elaborando una Hoja de Riesgos Localizados, la cual contempla los siguientes aspectos:

- Zonas a inspeccionar con mayor atención.
- Peligros detectados.
- Lugar de cada zona en la que se localizan los riesgos.
- Tipo de inspección a realizar.
- Periodicidad.
- Personas encargadas de realizar la inspección, etc.

3. SEGURIDAD APLICADA A LAS MÁQUINAS

3.1. PROTECCIÓN DE MÁQUINAS

Para que los fabricantes, importadores y suministradores de máquinas puedan garantizar que los productos que fabriquen o comercialicen cumplen con las exigencias esenciales de seguridad y salud establecidas en las Directivas, deberán cumplir con las especificaciones de las correspondientes normas elaboradas por el

CEN, ya que ello presupone la conformidad con los requisitos esenciales exigidos. En lo que se refiere al tema de protección de máquinas se ha elaborado una serie de normas:

Normas de Tipo A: Referidas a los principios y conceptos fundamentales de seguridad que pueden ser aplicados en todos los tipos de máquinas. Destacan:

- UNE-EN 292-1: 1993 “Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología”.
- UNE-EN 292-2: 1993 “Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2: Principios y especificaciones técnicas”.
- UNE-EN V 1070: 1994 “Seguridad en las máquinas. Terminología”.

Normas de Tipo B: Referidas a aspectos de seguridad o de un tipo de dispositivo que condiciona la seguridad, válidas para una amplia gama de máquinas. Se clasifican en:

- UNE-EN 294: 1993 “Seguridad de las máquinas. Distancias de Seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores”.
- UNE-EN 349: 1994 “Seguridad de las máquinas. Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano”.

Normas de Tipo C: Relativas a prescripciones de seguridad para una máquina en concreto o un grupo de máquinas.

3.2. PELIGROS GENERADOS POR LAS MÁQUINAS

Los peligros de las máquinas se clasifican en:

- Mecánicos.
- Eléctricos.
- Térmicos.
- Producidos por el ruido.
- Producidos por las vibraciones.
- Producidos por las radiaciones.
- Producidos por materiales y sustancias.
- Producidos por no respetar los principios ergonómicos en el diseño de máquinas.
- Combinación de peligros.

3.3. MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS Y EQUIPOS

Las operaciones de reparación, limpieza o mantenimiento de las máquinas o equipos requieren que en ocasiones los medios de protección sean retirados de su

sitio para facilitar estas operaciones, por lo que deberán adoptarse todas las precauciones y garantizar que una vez concluidas las operaciones de mantenimiento queden dispuestos en su mismo lugar. Un buen servicio de inspección y mantenimiento debe garantizar que los medios de protección se encuentren siempre en perfecto estado de funcionamiento. Para lo cual su personal deberá haber recibido formación adecuada en cuanto a:

- Principios de seguridad en las máquinas.
- Seguridad frente a peligros eléctricos y mecánicos.
- Métodos seguros de trabajo, incluyendo permisos de trabajo y sistemas de bloqueo durante las operaciones de mantenimiento.

4. SEGURIDAD APLICADA A LOS EQUIPOS

4.1. FERMENTADORES Y TANQUES

El fabricante del fermentador, tanques agitados y de almacenamiento dará la información necesaria sobre la localización y tamaño de los defectos detectados en ellos después de su fabricación para tener la posibilidad de seguir la evolución de estos defectos a lo largo del tiempo.

4.2. APERTURA DE EQUIPOS

Antes de abrir una pieza de equipo en el que ha habido materiales peligrosos, se deben tener en cuenta las siguientes precauciones:

- Se aislará el equipo del resto de la planta cerrando las válvulas correspondientes.
- Se drenará el líquido remanente, si lo hay, al correspondiente sistema de drenaje.
- El recipiente se purgará, se lavará con agua o vapor hasta que esencialmente todos los materiales peligrosos se hayan eliminado.
- Se cegarán todas las tuberías conectadas con el recipiente con el fin de evitar la entrada de cualquier material peligroso en el equipo.
- Las bocas de hombre de los recipientes se podrán abrir solo con un permiso escrito de la persona responsable de la planta.

4.3. ENTRADA DE OPERARIOS EN TANQUES. DEPÓSITOS U OTROS RECIPIENTES

Cualquiera que entre en un recipiente que contenga una atmósfera inerte o contaminada deberá seguir todas las precauciones prescritas en las normas de seguridad y reglamentos aplicables. En estas circunstancias una persona que entra en un recipiente debe usar siempre una máscara anti-gas apropiada, ropa protectora adecuada y un cinturón de seguridad con cuerda al exterior. Se confeccionará un permiso escrito que establecerá el límite de tiempo para el cual es válido, pero nunca más largo de una hora. Algunas conductas de seguridad principales son las siguientes:

- El recipiente deberá ser positivamente aislado, por ejemplo mediante bridas ciegas, para excluir todas las fuentes de productos peligrosos, aire, etc.
- Instalar un equipo de desplazamiento de aire fuera del recipiente, cerca de la boca del hombre para ventilar los vapores que salen del recipiente. La persona que entra en el recipiente deberá estar equipada con una máscara de aire fresco en condiciones de trabajo convenientes y con un adecuado suministro de aire.
- En el sitio estará disponible y listo para utilizar y transferir inmediatamente a la persona que está dentro del recipiente, un aparato de suministro de aire que sea independiente de la corriente eléctrica. La persona que entra en el recipiente utilizará un arnés con un cordón de seguridad atado adecuadamente. Un mínimo de dos ayudantes estarán en la boca del recipiente, en vigilancia continua de las acciones de la persona que está dentro.
- Habrá allí una máscara de reserva con aire fresco con su aparato de suministro de aire independiente, para permitir que una segunda persona entre en el recipiente rápidamente en caso de emergencia. Por lo tanto, este equipo de reserva debe ser lo bastante compacto para permitir que la segunda persona entre a través de la boca de hombre llevándolo puesto.

- Como precaución adicional se sugiere que la persona que está dentro del recipiente disponga de un suministro de aire autónomo de emergencia y el equipo
- auxiliar adecuado. Preferentemente, el suministro de aire de emergencia deberá estar conectado a la máscara de aire fresco que lleve puesta. Estos sistemas de "suministro de aire de reserva" están disponibles en el comercio.

4.4. TRABAJOS DE REPARACIÓN

Los trabajos mecánicos en una unidad en operación se deberán reducir al mínimo y utilizar los menos operarios posibles. No se hará ningún trabajo mecánico en un equipo sin un permiso de trabajo debidamente autorizado. No se permitirá realizar trabajos de soldadura, encender fuego u otros trabajos en caliente en el área, a no ser que se autoricen mediante un permiso de trabajo.

Ninguna persona entrará en un recipiente para cualquier fin, hasta que haya sido purgado adecuadamente, inertizado y luego analizado para asegurarse que está libre de gases nocivos o inflamables. Cuando un equipo se lava con una manguera, ésta debe estar provista de una válvula antirretorno.

5. RIESGOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

Para que se produzca un incendio se precisa de la concurrencia de tres factores, que se han dado en llamar "triángulo del fuego": combustible, comburente y fuente de calor. Actualmente se habla, más que de triángulo, de "tetraedro del fuego", al introducir un cuarto factor: el de la reacción en cadena.

- Combustible: toda sustancia susceptible de combinarse con el oxígeno de forma rápida y exotérmica.
- Comburente: toda mezcla de gases en la cual el oxígeno está en proporción suficiente para que se produzca la combustión.
- Energía de activación: energía mínima necesaria para que se inicie la reacción. Depende del tipo de combustible y de las condiciones en las que se encuentra (presión, temperatura, concentración, etc.). La energía de

activación es proporcionada por todos los focos de ignición. Estos focos pueden ser eléctricos, mecánicos, térmicos y químicos.

- Reacción en cadena: conjunto de sucesos, correlativos en el tiempo, que definen un incendio. Se distinguen las etapas de ignición, propagación y consecuencias.

5.1. PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Para evitar el inicio y propagación de un incendio se actuará:

- Retirando el material combustible.
- Disponiendo sistemas de detección y alarmas.
- Utilizando equipos y medios e extinción.
- Planificando sistemas de evacuación.

Las medidas preventivas deben comenzar a aplicarse desde la fase de proyecto, que es cuando las medidas a adoptar pueden resultar más fáciles, eficaces y económicas.

5.2. SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA. DISEÑO

Resulta imprescindible, a la hora de fijar la situación de una nueva planta industrial, la realización de un estudio detallado, en el que se tengan en cuenta los edificios próximos existentes o por construir, su carácter industrial o de vivienda, las condiciones climáticas de la zona, abastecimiento de agua, facilidades de acceso, etc. Debe continuarse con el estudio del proceso de trabajo y su disposición, localización correcta de almacenes de materias primas, productos intermedios y acabados, etc. Todo esto se ha tenido en cuenta en la elaboración del proyecto.

5.3. ESTRUCTURA Y TIPO DE MATERIAL A EMPLEAR

Los materiales a emplear en la construcción se clasifican atendiendo a su combustibilidad en cuatro categorías:

- Materiales incombustibles o no inflamables: aquellos que en su estado normal, bajo ninguna circunstancia pueden inflamarse, carbonizarse ni reducirse a cenizas.

- Materiales difícilmente combustibles o difícilmente inflamables. aquellos que para inflamarse necesitan un contacto con llama, ardiendo lentamente y precisando de un aporte de calor exterior continuo.
- Materiales combustibles o medianamente inflamables: aquellos que se inflaman en contacto con llama en un tiempo superior a 20 segundos y continúan ardiendo después de la inflamación sin necesidad de aporte exterior de calor.
- Materiales inflamables: aquellos que se inflaman en contacto con llama en un periodo inferior a 20 segundos.

Los materiales inflamables no pueden emplearse en edificación, así como, aquellos materiales que al arder desprenden gases corrosivos y/o tóxicos.

5.4. ORGANIZACIÓN INTERNA

Desde el punto de vista del riesgo de incendio, resulta de gran eficacia la ordenación correcta de los almacenes de materias primas y productos y la circulación de estos y su manejo. Para ello se recurre a las normas y ordenanzas de aplicación a lo relativo a almacenamiento, volúmenes máximos, superficies máximas, pasillos, etc. Se tiene en cuenta el poder calorífico unitario de los productos almacenados, fijación de volúmenes máximos por unidad de superficie, altura de pilas, etc., con lo cual se tiene una idea de la intensidad y duración que cabe esperar en caso de incendio, así como de la velocidad y sentido de la propagación lo que permite programar y adoptar los medios de extinción adecuados.

5.5. PROCESO DE PRODUCCIÓN

El conocimiento del proceso de producción es de vital importancia para poder detectar las zonas con riesgos de incendios que puedan existir a lo largo del mismo. Con ello se estudia la ubicación de servicios e instalaciones auxiliares (instalación eléctrica, calderas, instalaciones de vapor, etc.) y los correspondientes elementos de protección.

5.6. MEDIDAS GENERALES

- Eliminación de los focos de ignición, atendiendo a las protecciones y aislamientos adecuados de las instalaciones eléctricas; protección contra la electricidad estática; aislamiento de focos caloríficos y atención especial a

operaciones de soldadura separando las zonas de operación; prohibición de fumar; vigilancia; etc.

- Orden y limpieza, evitando la acumulación de sustancias que puedan ser foco de ignición.
- Creación de muros, pantallas y puertas cortafuegos, que aislen las zonas más peligrosas.

5.7. SISTEMAS DE DETECCIÓN Y ALARMA

Se entiende por detección, el descubrimiento de la existencia de un incendio. Es fundamental para evitar la propagación del fuego en la medida de lo posible. La rápida detección debe ir acompañada de una correcta localización. Los sistemas de detección tienen como misión la vigilancia permanente de los riesgos existentes. Se emplearán:

- Detectores humanos: realización de un recorrido de inspección, principalmente al terminar la jornada y durante la noche.
- Detectores automáticos: aparatos automáticos sensibles a las variaciones del medio ambiente que registran, comparan y miden automáticamente los fenómenos o variaciones que anuncian la aparición de un incendio transmitiendo la señal a la central.

5.8. EQUIPOS Y MEDIOS DE EXTINCIÓN

Los procedimientos de extinción están basados en la eliminación de uno de los factores que componen el tetraedro del fuego. Debido a esto, la actuación sobre el incendio conlleva:

- Eliminación del combustible.
- Eliminación del comburente (sofocación).
- Eliminación de la energía de activación (enfriamiento).
- Eliminación de la reacción en cadena (inhibición).

5.9. AGENTES EXTINTORES

Para lograr la extinción del incendio se recurre a los agentes extintores que se proyectan sobre los combustibles en ignición. Pueden ser de:

- Agua: es la sustancia extintora más utilizada. Actúa como refrigerante y como sofocante, ya que al evaporarse produce vapor de agua que cubre el fuego,

dificultando el aporte de oxígeno. Unido a sus ventajas económicas, abundancia, disponibilidad, inocuidad, etc. presenta el inconveniente de que dispersa el incendio en líquidos y sólidos subdivididos, produce daños considerables y no puede utilizarse donde exista riesgo eléctrico.

- Espuma: son burbujas de aire o gas, en base generalmente acuosa, que flotan en las superficies de los líquidos debido a su baja densidad, impidiendo que el combustible continúe en contacto con el aire. La espuma puede ser química (generada por reacción química) o física (generada por la mezcla de un producto espumógeno, agua y aire, con productos estabilizadores de la espuma). Presenta el inconveniente de no poder ser utilizada en fuego eléctrico (excepto la espuma de alta expansión) y de ser muy corrosiva.
- Anhídrido carbónico: es un gas que se licua por compresión y enfriamiento debiéndose almacenar en recipientes adecuados, ya que su presión es de 60 atm a temperatura ambiente. Al descargar el CO₂ fuera del recipiente se expande produciéndose una especie de nieve conocida como nieve carbónica, la cual actúa como sofocante. Frente a la ventaja de no ser tóxico, su aplicación a fuegos eléctricos, no producir daños ni deterioros, salir autoimpulsado, etc. presenta los inconvenientes de no poder aplicarse a fuegos con brasas, ser poco efectivo en exteriores y producir asfixia en porcentajes superiores al 4%.
- Polvos: se utilizan tres tipos: polvo normal B, C; polvo antibrasa A, B, C (polivalente); y polvos especiales. Los polvos normales y polivalentes son sales metálicas con algunos aditivos, siendo el bicarbonato sódico o potásico el componente. Además de tener buenas cualidades extintoras son buenos inhibidores. Frente a la ventaja de ser aplicables a fuegos eléctricos y no ser tóxicos presentan el inconveniente de no poder utilizarse en máquinas o instalaciones delicadas y tener peligro de reactivación del fuego al cesar el aporte de polvo.

5.10. SISTEMAS DE EXTINCIÓN

- Equipos portátiles (extintores): son recipientes cerrados que contienen en su interior una sustancia extintora que puede ser proyectada y dirigida sobre un

fuego por la acción de una presión interior. Estos equipos deben mantenerse a plena carga, en condiciones de funcionamiento y colocados en lugares adecuados, de forma visible. Deben someterse a inspecciones periódicas para verificar su estado.

- Instalaciones fijas: formado por una red de tuberías, tanques de almacenamiento del agente extintor, equipos y elementos terminales que cubren permanentemente las zonas donde se localice algún riesgo de incendio.

6. RIESGO ELÉCTRICO

Las medidas de seguridad utilizadas para controlar el riesgo eléctrico son de dos tipos: informativas y de protección.

6.1. INFORMATIVAS

- Normativas: establecimiento de normas operativas de carácter específico para cada trabajo o generales coordinadas con las restantes medidas informativas.
- Instructivas: formación de los operarios que trabajan en riesgos eléctricos sobre la utilización correcta de aparatos y herramientas que manejan y el significado y simbología de la señalización.
- De señalización: colocación de señales de prohibición, precaución o información en los lugares apropiados.
- De identificación y detección: identificación y comprobación de tensiones en las instalaciones eléctricas antes de actuar sobre las mismas.

6.2. DE SEGURIDAD DE PROTECCIÓN

6.2.1. Individuales

Guantes aislantes, cascos aislantes, tarimas y alfombras aislantes, pértigas de maniobra y salvamento, calzado aislante, etc. Cumplirán con las exigencias esenciales de seguridad y salud y consiguientemente llevarán la marca CE.

6.2.2. De instalación

- Protección de los contactos directos: Disposición que impida que la corriente eléctrica atraviese el cuerpo humano, limitación de la corriente que pueda atravesar el cuerpo humano a una intensidad no peligrosa, separación por
 - distancia o alejamiento a las partes activas y recubrimiento o aislamiento de las partes activas.
- Protección de los contactos indirectos: Sistemas de clase A (separación de circuitos, empleo de pequeñas tensiones de seguridad, separación entre las partes activas y las masas accesibles por medio de aislamientos de protección y conexiones equipotenciales) y sistemas de clase B (corte automático cuando aparece un defecto susceptible de favorecer, en caso de contacto con las masas, el paso a través del cuerpo humano de una corriente considerada peligrosa; y puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto).

7. RIESGOS DERIVADOS DEL USO DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Los riesgos químicos son debidos bien a factores intrínsecos, propios de los productos en función de sus propiedades físico-químicas o de su reactividad química en las condiciones de uso, o bien a factores extrínsecos, dependiendo de las condiciones de inseguridad en las que se utilizan. Se tomarán medidas preventivas:

7.1. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS

- Almacenar sólo las cantidades imprescindibles de cada producto peligroso si no existen restricciones legales.
- Aislar las zonas destinadas al almacenamiento dotándolas de los medios de prevención adecuados y, si fuese posible, utilizar locales especiales.
- Elegir los recipientes adecuados para cada sustancia.
- Si se trata de sustancias inflamables o combustibles y reductoras, deberán mantenerse separadas de las oxidantes y de las tóxicas, las cuales deberán mantenerse en locales bien ventilados.

- En el caso de sustancias corrosivas, los recipientes se colocarán lo más cerca posible del suelo y sobre bandejas que puedan retener posibles derrames por roturas.

7.2. MANIPULACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Deben adoptarse medidas preventivas para evitar los riesgos más frecuentes:

- Contacto dérmico por rotura del envase durante el transporte o con sustancias derramadas: Empleo de envases seguros y diseñados ergonómicamente, neutralizar las sustancias derramadas con productos adecuados, no limpiar con trapos o papel, etc.
- Proyecciones y salpicaduras en las operaciones de trasvase: evitar el vertido libre desde recipientes (instalaciones fijas y sistemas de bombeo), duchas de emergencia y lava ojos, equipos de protección individual adecuados.
- Incendios y/o intoxicaciones por evaporación de sustancias inflamables y/o tóxicas: controlar los desechos y residuos, controlar los focos de ignición, trasvasar en locales bien ventilados, mantener los recipientes cerrados herméticamente.
- Incendios en trasvases de líquidos inflamables por electricidad estática: trasvasar a velocidades lentas y llenar por el fondo, evitar atmósferas peligrosas en el interior de los recipientes, emplear recipientes metálicos, no utilizar ropa de trabajo de fibras acrílicas, sino de algodón.
- Contactos dérmicos en laboratorios: emplear sistemas mecánicos de pipeteado y dosificación.

8. CONTROL DE PERSONAS Y VEHÍCULOS

8.1. CONTROL DE LAS PERSONAS

- Para entrar en el Recinto Industrial se acreditará la personalidad ante el Servicio de Seguridad, por medio de una tarjeta de identificación, que deberá ser llevada siempre en lugar visible y presentada a petición de cualquier empleado.

- Sólo autorizarán la entrada de visitas de trabajo en el Recinto Industrial a las facultadas explícitamente para ello por la Dirección, quienes serán responsables de que la visita acceda únicamente a los lugares previstos en la autorización. Las visitas que no sean de trabajo, también deberán de ser autorizadas por la Dirección.
- Nadie podrá entrar en áreas de Unidades, Talleres, Laboratorios y Almacenes sin autorización del Responsable del Área, excepto en el caso de que entre para solicitar autorización.

8.2. CONTROL DE VEHÍCULOS

- Todos los vehículos que entren en el Recinto Industrial deberán estar autorizados por un mando competente y por el Servicio de Seguridad. Dichas autorizaciones se reflejarán en un Permiso de Entrada que deberá ser llevado siempre en lugar visible y presentado a petición del Servicio de Seguridad.
- Todos los vehículos a motor que entren en el Recinto Industrial deberán estar en buenas condiciones mecánicas, certificadas por un taller autorizado, si son vehículos con autorización por más de 24 horas, ante cualquier avería se dejarán fuera de servicio, comunicándolo al Servicio de Seguridad.
- Los motores se pararán para llenar el depósito de combustible, excepto en los casos en que no sea posible en los equipos de emergencia.
- Los conductores de vehículos pesados deben estar localizables en el caso de que se alejen de él. Los conductores de transporte de Mercancías Peligrosas no podrán abandonar el vehículo.
- Los vehículos solo podrán ser estacionados en los aparcamientos señalizados. Si por cualquier causa se debe aparcar el vehículo en otro lugar, se dejará abierto, con las llaves puestas en el contacto y en lugar que no interfiera la libre circulación, ni el trabajo, ni la visión de la señalización. En cualquier caso está prohibido aparcar o detener el vehículo en un radio mínimo de 6 m de hidrantes o casetas de material contra incendios.
- En todo el recinto industrial está en vigor el Código de la Circulación. El límite de velocidad es de 30 km/h para vehículos en general y de 20 km/h para grúas y vehículos especiales.

9. PROTECCIÓN INDIVIDUAL

La misión de la protección individual no es la de eliminar el riesgo de accidente, sino reducir o eliminar las consecuencias personales o lesiones que este pueda producir en el trabajador. De acuerdo con las Directivas Europeas 89/686/CEE y 89/656/CEE relativas a los equipos de protección individual (EPIs), la primera de ellas transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 1407/1992 de 20 de noviembre, por el que se regula las condiciones para la comercialización de los equipos de protección individual, y la segunda por el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre condiciones mínimas de seguridad y salud en la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, se entiende por EPI “cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que pueda amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin”. Excluidos de la definición anterior quedan la ropa de trabajo corriente y los uniformes que no estén específicamente destinados a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores.

9.1. PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE A RIESGOS MECÁNICOS

9.1.1. Protección del cráneo

Los riesgos fundamentales a los que está sometida la cabeza son:

- Condiciones atmosféricas.
- Radiaciones.
- Choques, impactos y caídas de objetos.
- Sustancias contaminantes.
- Enganches de cabello
- Agresivos químicos

El equipo utilizado es el casco de protección fabricado con material no metálico.

9.1.2. Protección de las extremidades

- Elementos de protección de manos y brazos: aunque la mayor parte de los dispositivos de protección utilizados en máquinas tienen la misión de proteger las manos contra los riesgos graves de aplastamiento, amputaciones, etc., existen otra serie de lesiones de menos importancia por su origen, pinchazos,

abrasiones, cortes, quemaduras, etc., frente a los cuales la protección individual, como los guantes, constituye una eficaz medida.

- Elementos de protección de pies y piernas: el calzado de seguridad constituye el elemento de protección de extremidades inferiores de uso más generalizado para prevenir pinchazos, golpes, aplastamientos, quemaduras, agresivos químicos, deslizamientos, etc.

9.2. PROTECCIÓN INTEGRAL

Está constituida por elementos destinados a proteger al individuo frente a riesgos que actúan sobre todo el cuerpo (trajes ignífugos, arneses, ropa de protección, dispositivos antiácidos, chalecos salvavidas, etc.).

9.2.1. Ropa de protección

- Ropa especial contra agresivos químicos y agresivos térmicos (frío o calor).
- Ropa especial contra radiaciones.
- Prendas de señalización.

9.2.2. Protección contra caídas de altura

- Sistemas de sujeción (cinturón de sujeción).
- Sistemas anticaídas (argollas, mosquetones, etc.).
- Dispositivos de anticaídas (arnés y sistema de bloqueo automático).
- Dispositivos de descenso.

9.3. PROTECCIÓN COLECTIVA

Su objetivo es la protección simultánea de varios trabajadores expuestos a un determinado riesgo. Equipos empleados para este fin:

9.3.1. Redes de seguridad

- Redes de prevención para evitar la caída de personas.
- Redes de protección para limitar la caída de personas.

9.3.2. Redes elásticas

Empleadas para amortiguar los efectos de la caída de trabajadores que trabajen a alturas superiores a 6 m.

10. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA

- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. Reglamento de los Servicios de Prevención. BOE nº 27 de 31 de enero.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. BOE 23-4-97.
- Real Decreto 3275/1982 sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. BOE 1-12-82.
- Real Decreto 2413/1973 por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. BOE 9-10-73.
- Real Decreto 556/1989, de 19 de mayo, sobre medidas mínimas de accesibilidad en los edificios. BOE 23-5-89.
- ENV ISO 11079:97 Aislamiento requerido de la vestimenta.
- UNE EN 294. Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores.
- UNE EN 349. Seguridad de las máquinas. Distancias para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano.
- UNE EN 547. Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 1: Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para el paso de todo el cuerpo en las máquinas. Parte 2: Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para las aberturas de acceso. Parte 3: Datos antropométricos.
- UNE EN 811. Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros inferiores.
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. BOE 12-6. Modificado 18-7-1997.
- Real Decreto 1435/1992 de 27 de noviembre relativo a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre máquinas. BOE 11-12-92.
- UNE 111519-85. Colores y señales de seguridad.

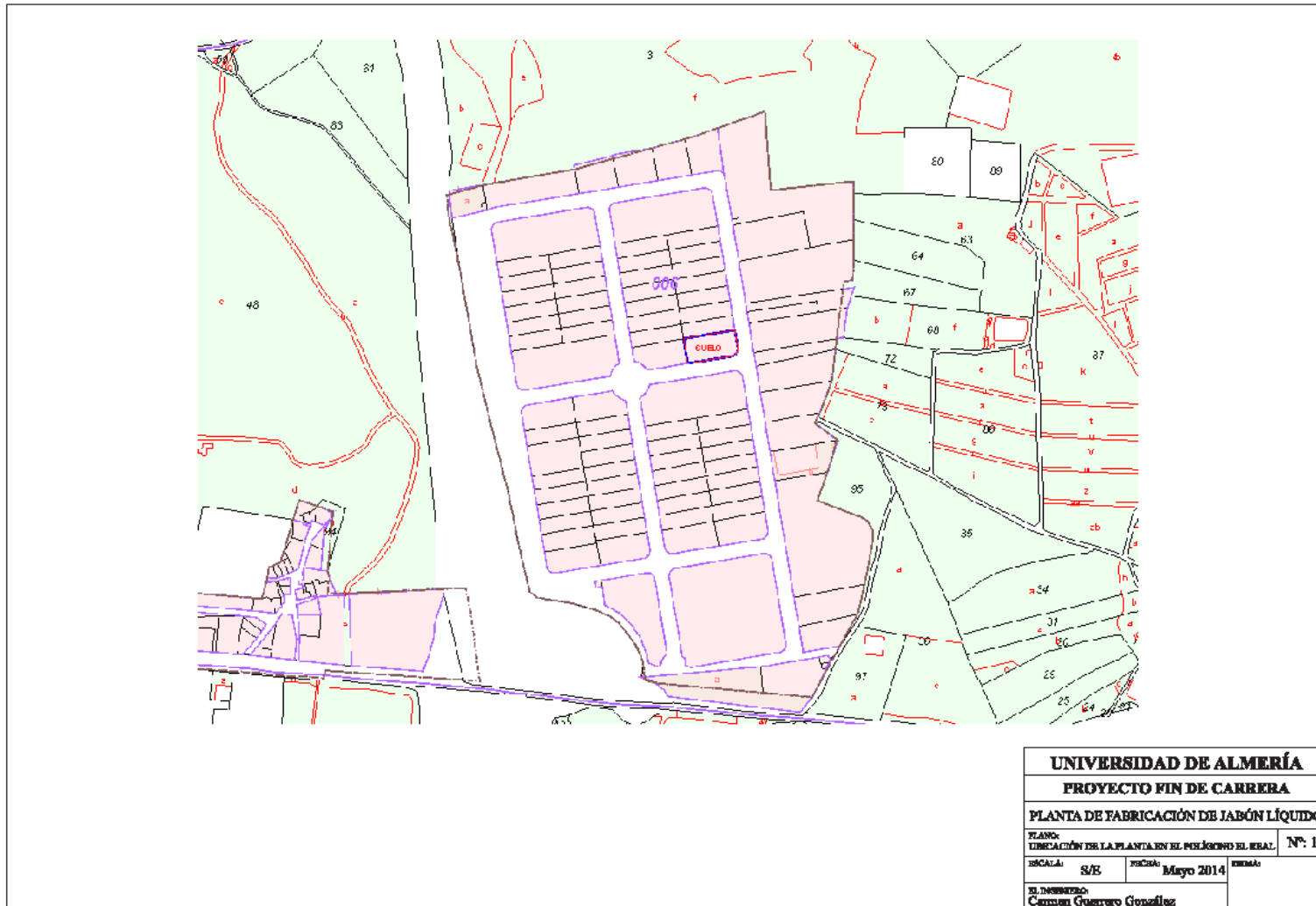
- UNE 23035-1. Marzo 1995: Seguridad contra incendios. Señalización fotoluminiscente. Parte 1: Medida y calificación.
- UNE 23035-2. Marzo 1995: Seguridad contra incendios. Señalización fotoluminiscente. Parte 2: Medida de productos en el lugar de utilización.
- UNE 72551. Abril 1985: Alumbrado (de emergencia) de evacuación. Actuación.
- UNE 72552. Abril 1985: Alumbrado (de emergencia) de evacuación. Actuación.
- UNE 72553. Abril 1985: Alumbrado (de emergencia) de evacuación. Actuación.
- Real Decreto 1254/1999 de 16 de julio. Se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE 20-7. Modificado 4-11-1999.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio. Se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. BOE 7-8-1997.
- NBE-CPI/96. Norma básica de protección contra incendios en los edificios, aprobado por Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre. BOE 29-10-96.
- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. BOE 14-12-93. Modificado por Orden de 16-4-1998, BOE 28-4-1998.
- Real Decreto 786/2001 de 6 de julio. Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. BOE 30-7-2001.

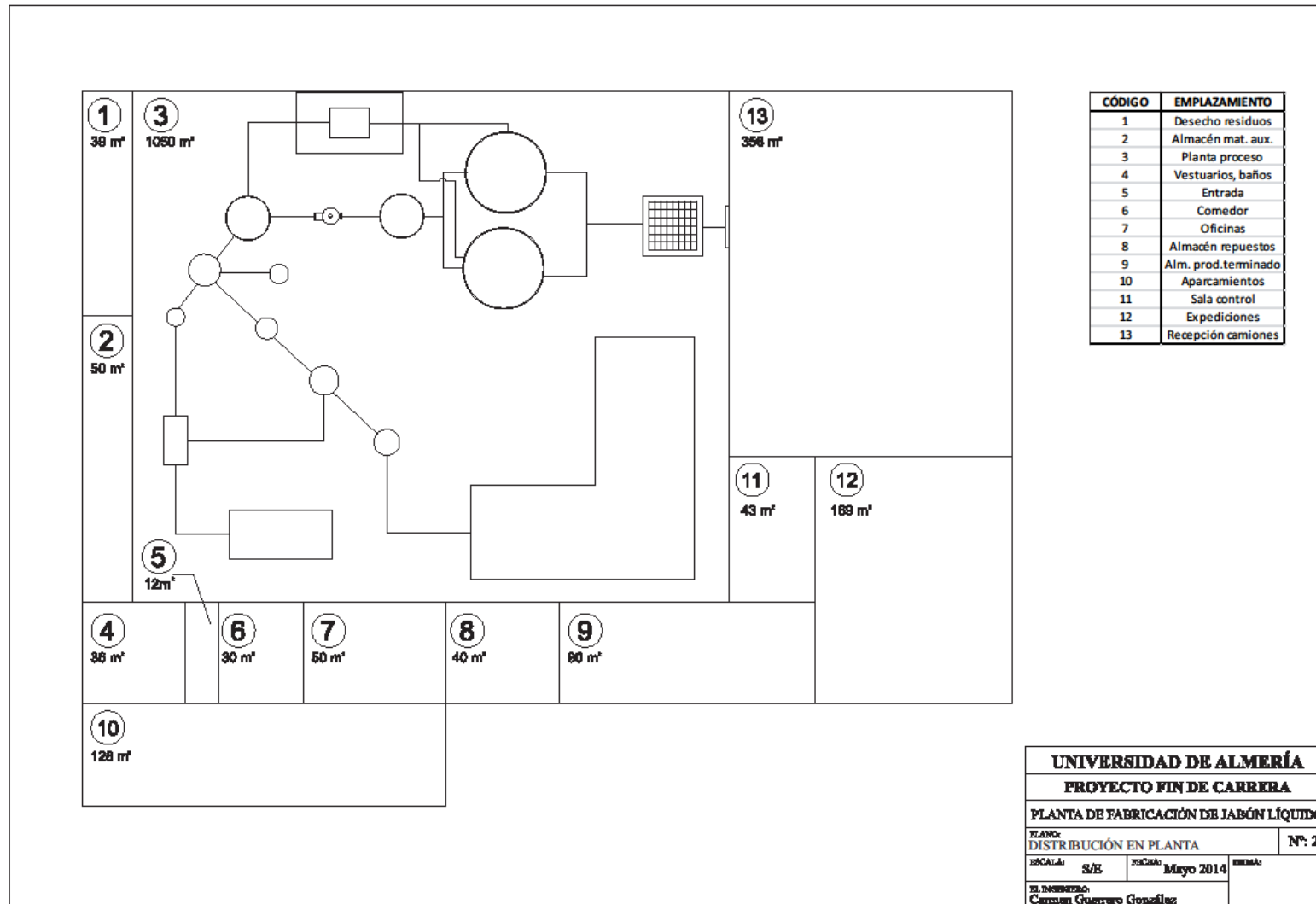
DOCUMENTO N° 3.

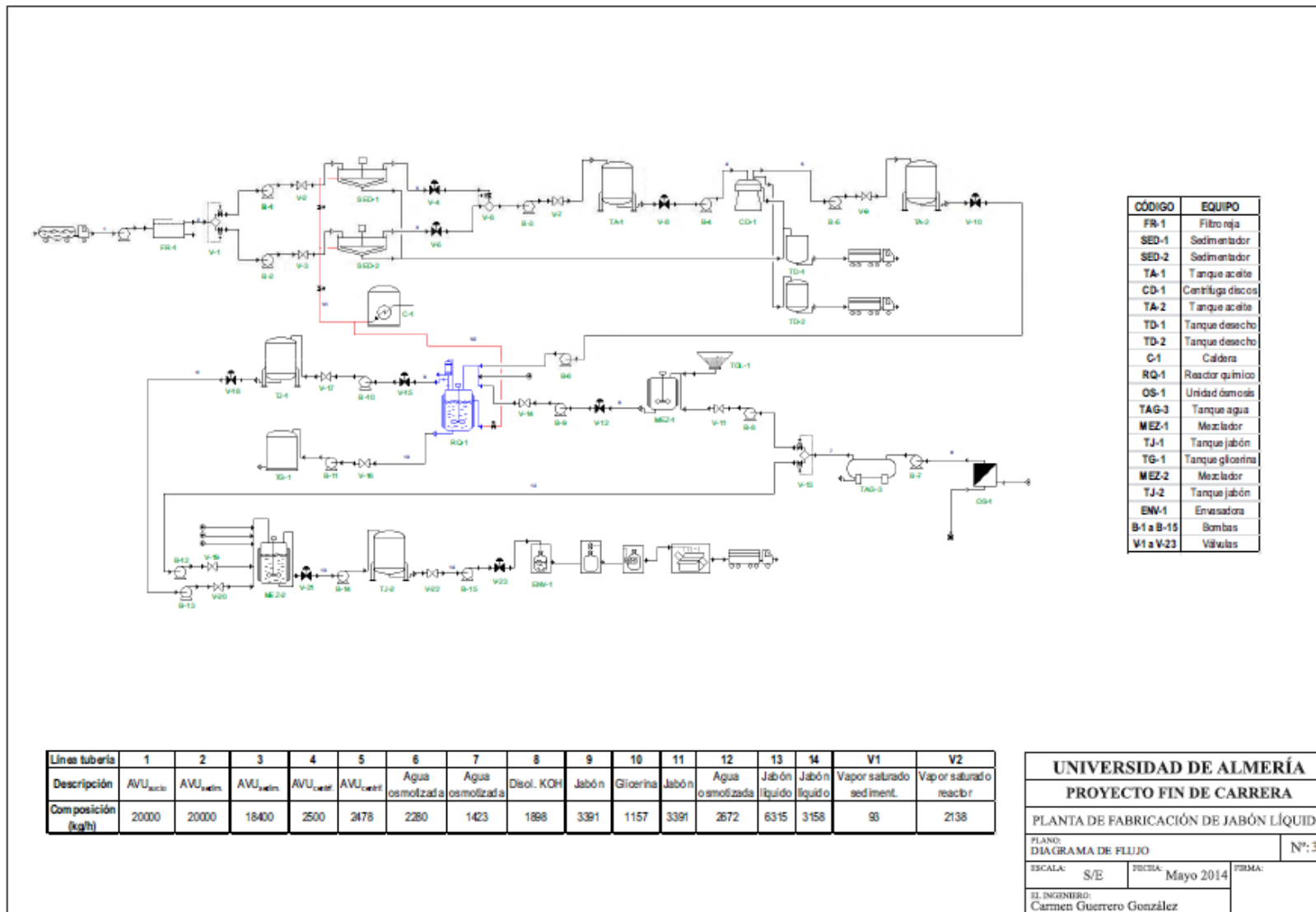
PLANOS

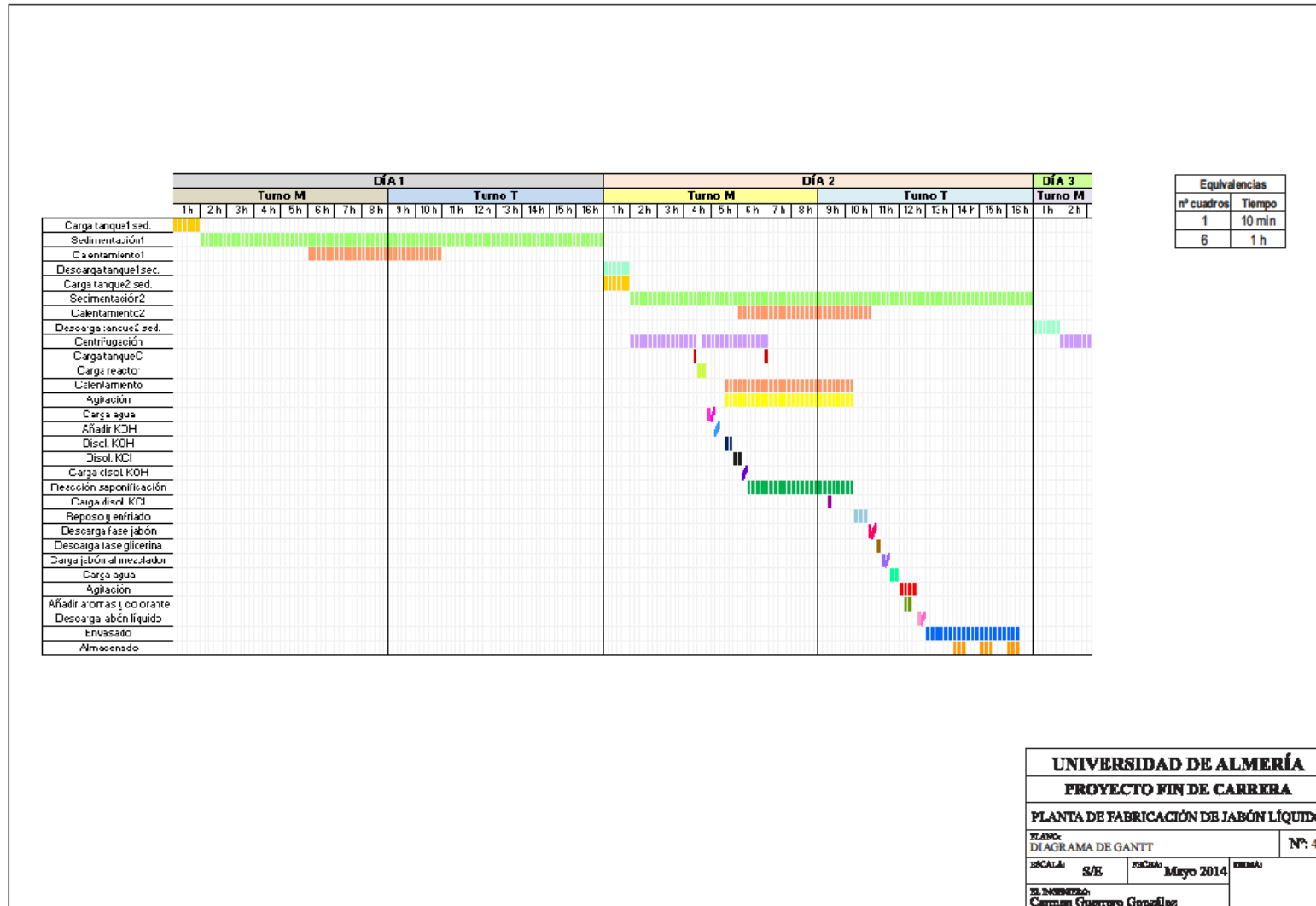
ÍNDICE DEL DOCUMENTO N° 3

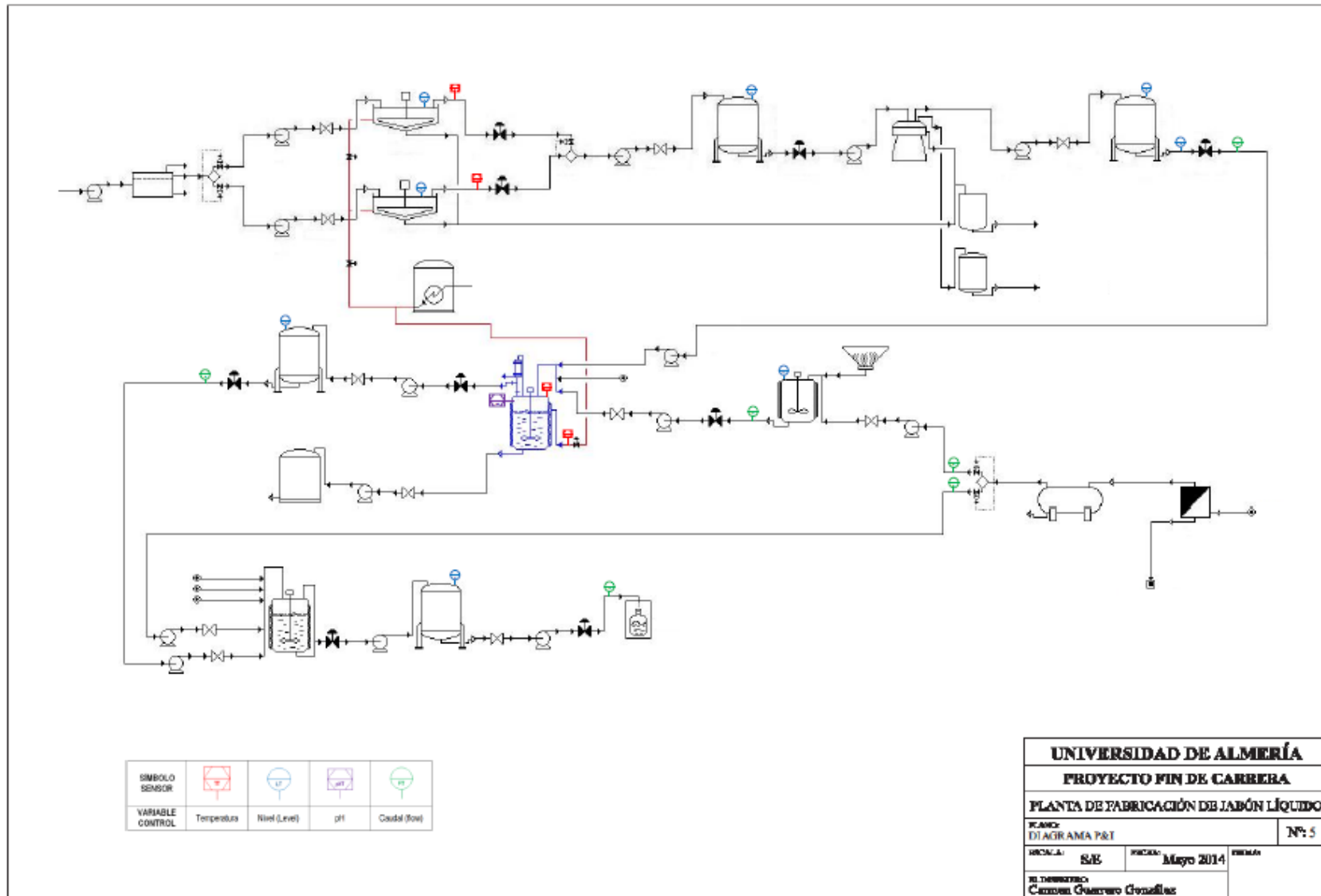
PLANO 1. UBICACIÓN DE LA PLANTA EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL “EL REAL”	1
PLANO 2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	2
PLANO 3. DIAGRAMA DE FLUJO	3
PLANO 4. DIAGRAMA DE GANTT	4
PLANO 5. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS	5











DOCUMENTO N° 4.

PLIEGO DE

CONDICIONES

ÍNDICE DOCUMENTO N° 4.

CAPÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES	301
ARTÍCULO 1.- OBRAS OBJETO DEL PRESENTE PROYECTO	301
ARTÍCULO 2.- OBRAS ACCESORIAS NO ESPECIFICADAS EN EL PLIEGO.....	301
ARTÍCULO 3.- DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS	301
ARTÍCULO 4.- COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS	302
ARTÍCULO 5.- DIRECTOR DE LA OBRA	302
ARTÍCULO 6.- DISPOSICIONES A TENER EN CUENTA	302
CAPÍTULO II: PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	303
ARTÍCULO 7.- REPLANTEO.....	303
ARTÍCULO 8.- MOVIMIENTO DE TIERRAS	303
ARTÍCULO 9.- RED HORIZONTAL DE SANEAMIENTO	303
ARTÍCULO 10.- CIMENTACIONES.....	304
ARTÍCULO 11.- FORJADOS.....	304
ARTÍCULO 12.- HORMIGONES	304
ARTÍCULO 13.- ACERO LAMINADO	304
ARTÍCULO 14.- CUBIERTAS Y COBERTURAS	305
ARTÍCULO 15.- ALBAÑILERÍA	306
ARTÍCULO 16.- CARPINTERÍA Y CERRAJERÍA.....	306
ARTÍCULO 17.- AISLAMIENTOS.....	307
ARTÍCULO 18.- RED VERTICAL DE SANEAMIENTO.....	307
ARTÍCULO 19.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	307
ARTÍCULO 20.- INSTALACIONES DE FONTANERÍA	308
ARTÍCULO 21.- INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN.....	308
ARTÍCULO 22.- INSTALACIONES DE PROTECCIÓN	308
ARTÍCULO 23.- OBRAS O INSTALACIONES NO ESPECIFICADAS ..	309
CAPÍTULO III: PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS	309
Epígrafe I.- OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA	309
ARTÍCULO 24.- REMISIÓN DE SOLICITUD DE OFERTAS	309
ARTÍCULO 25.- RESIDENCIA DEL CONTRATISTA.....	309

ARTÍCULO 26.- RECLAMACIONES CONTRA LAS ÓRDENES DE DIRECCIÓN	309
ARTÍCULO 27.- DESPIDO POR INSUBORDINACIÓN, INCAPACIDAD Y MALA FE.....	310
ARTÍCULO 28.- COPIA DE LOS DOCUMENTOS.....	310
Epígrafe II.- TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES	310
ARTÍCULO 29.- LIBRO DE ÓRDENES	310
ARTÍCULO 30.- COMIENZO DE LOS TRABAJOS Y PLAZO DE EJECUCIÓN	310
ARTÍCULO 31.- CONDICIONES GENERALES DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS	311
ARTÍCULO 32.- TRABAJOS DEFECTUOSOS	311
ARTÍCULO 33.- OBRAS Y VICIOS OCULTOS	311
ARTÍCULO 34.- MATERIALES NO UTILIZABLES O DEFECTUOSOS	312
ARTÍCULO 35.- MEDIOS AUXILIARES	312
Epígrafe III.- RECEPCIÓN Y LIQUIDACIÓN.....	313
ARTÍCULO 36.- RECEPCIONES PROVISIONALES.....	313
ARTÍCULO 37.- PLAZO DE GARANTÍA.....	313
ARTÍCULO 38.- CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS RECIBIDOS PROVISIONALMENTE.....	313
ARTÍCULO 39.- RECEPCIÓN DEFINITIVA.....	314
ARTÍCULO 40.- LIQUIDACIÓN FINAL	314
ARTÍCULO 41.- LIQUIDACIÓN EN CASO DE RESCISIÓN	314
Epígrafe IV.- FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE OBRAS	314
ARTÍCULO 42.- FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE OBRAS	314
CAPÍTULO IV: PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS.....	315
Epígrafe I.- BASE FUNDAMENTAL	315
ARTÍCULO 43.- BASE FUNDAMENTAL	315
Epígrafe II.- GARANTÍAS DE CUMPLIMIENTO Y FIANZAS	315
ARTÍCULO 44.- GARANTÍAS.....	315
ARTÍCULO 45.- FIANZAS	315

ARTÍCULO 46.- EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS CON CARGO A LA FIANZA	315
ARTÍCULO 47.- DEVOLUCIÓN DE LA FIANZA	316
Epígrafe III.- PRECIOS Y REVISIONES	316
ARTÍCULO 48.- PRECIOS CONTRADICTORIOS.....	316
ARTÍCULO 49.- RECLAMACIONES DE AUMENTO DE PRECIOS	316
ARTÍCULO 50.- REVISIÓN DE PRECIOS	317
ARTÍCULO 51.- ELEMENTOS COMPRENDIDOS EN EL PRESUPUESTO	318
Epígrafe IV.- VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS	318
ARTÍCULO 52.- VALORACIÓN DE LA OBRA.....	318
ARTÍCULO 53.- MEDICIONES PARCIALES Y FINALES	318
ARTÍCULO 54.- EQUIVOCACIONES EN EL PRESUPUESTO	319
ARTÍCULO 55.- VALORACIÓN DE OBRAS INCOMPLETAS	319
ARTÍCULO 56.- CARÁCTER PROVISIONAL DE LAS LIQUIDACIONES PARCIALES	319
ARTÍCULO 57.- PAGOS	319
ARTÍCULO 58.- SUSPENSIÓN POR RETRASO DE PAGOS.....	320
ARTÍCULO 59.- INDEMNIZACIÓN POR RETRASO DE LOS TRABAJOS	320
ARTÍCULO 60.- INDEMNIZACIÓN POR DAÑOS DE CAUSA MAYOR AL CONTRATISTA.....	320
Epígrafe V.- VARIOS	320
ARTÍCULO 61.- MEJORAS DE OBRAS.....	320
ARTÍCULO 62.- SEGURO DE LOS TRABAJOS	321
CAPITULO V: PLIEGO DE CONDICIONES LEGALES.....	322
ARTÍCULO 63.- JURISDICCIÓN.....	322
ARTÍCULO 64.- ACCIDENTES DE TRABAJO Y DAÑOS A TERCEROS	322
ARTÍCULO 65.- PAGO DE ARBITRIOS.....	323
ARTÍCULO 66.- CAUSAS DE RESCISIÓN DEL CONTRATO.....	323

CAPÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO 1.- OBRAS OBJETO DEL PRESENTE PROYECTO

Se considerarán sujetas a las condiciones de este Pliego, todas las obras características, planos y presupuestos, que se adjuntan en las partes correspondientes del presente Proyecto, así como todas las obras necesarias para dejar completamente terminados los edificios e instalaciones con arreglo a los planos y documentos adjuntos.

Se entiende por obras accesorias, aquellas que por su naturaleza, no pueden ser previstas en todos sus detalles, sino a medida que avanza la ejecución de los trabajos. Las obras accesorias, se construirán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando su importancia lo exija se construirán en base a los proyectos adicionales que se redacten. En los casos de menor importancia se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule la Dirección de la Obra.

ARTÍCULO 2.- OBRAS ACCESORIAS NO ESPECIFICADAS EN EL PLIEGO

Si en el transcurso de los trabajos se hiciese necesario ejecutar cualquier clase de obras o instalaciones que no se encuentren descritas en este Pliego de Condiciones, el Adjudicatario estará obligado a realizarlas con estricta sujeción a las órdenes que, al efecto, reciba de la Dirección de Obra y, en cualquier caso, con arreglo a las reglas del buen arte constructivo.

La Dirección de Obra tendrá plenas atribuciones para sancionar la idoneidad de los sistemas empleados, los cuales estarán expuestos para su aprobación de forma que, a su juicio, las obras o instalaciones que resulten defectuosas total o parcialmente, deberán ser demolidas, desmontadas o recibidas en su totalidad o en parte, sin que dé derecho a ningún tipo de reclamación por parte del Adjudicatario.

ARTÍCULO 3.- DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregue al Contratista, pueden tener carácter contractual o meramente informativo. Son documentos contractuales los Planos, Pliego de Condiciones, Cuadros de Precios y Presupuestos Parcial y Total, en su caso, que se incluyen en el presente Proyecto. Los datos incluidos en la Memoria y Anejos, así como la justificación de precios tienen carácter meramente informativo.

Cualquier cambio en el planteamiento de la Obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la Dirección Técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

ARTÍCULO 4.- COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS

En caso de contradicción entre los planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último documento. Lo mencionado en los planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

ARTÍCULO 5.- DIRECTOR DE LA OBRA

La propiedad nombrará en su representación a un Técnico Titulado, en quién recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente Proyecto. El Contratista proporcionará toda clase de facilidades para que la Dirección de Obra, o sus subalternos, puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

No será responsable ante la propiedad de la tardanza de los Organismos competentes en la tramitación del Proyecto. La tramitación es ajena al Director, quien una vez conseguidos todos los permisos, dará la orden de comenzar la obra.

ARTÍCULO 6.- DISPOSICIONES A TENER EN CUENTA

- Ley de contratos del Estado aprobado por Decreto 923/1965 de 8 de Abril.
- Reglamento General de Contratación para aplicación de dicha Ley aprobado por Decreto 3354/1967 de 28 de Diciembre.
- Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del M.O.P.U.
- Normas Básicas (NBE) y Tecnológicas de la Edificación (NTE).
- Instrucción EHE de hormigón estructural.
- Instrucción EP-93 para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado.
- Métodos y Normas de Ensayo de Laboratorio Central del M.O.P.U.
- Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas MIBT complementarias.
- Reglamento sobre recipientes y aparatos a presión.
- Resolución General de Instrucciones para la construcción de 31 de Octubre de 1966.

CAPÍTULO II: PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

ARTÍCULO 7.- REPLANTEO

Antes de dar comienzo las obras, la Dirección de las obras, auxiliado del personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o de su representante, procederá al replanteo general de la obra. Una vez finalizado el mismo se levantará acta de comprobación del replanteo. Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y órdenes de la Dirección de la Obra, quien realizará las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante. El Contratista se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

ARTÍCULO 8.- MOVIMIENTO DE TIERRAS

Se refiere el presente artículo a los desmontes y terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación, la excavación a cielo abierto realizada con medios manuales y/o mecánicos y a la excavación de zanjas y pozos. Se adoptan las condiciones generales de seguridad en el trabajo así como las condiciones relativas a los materiales, control de la ejecución, valoración y mantenimiento que especifican las normas:

- NTE-AD "Acondicionamiento del Terreno. Desmontes".
- NTE-ADE "Explanaciones".
- NTE-ADV "Vaciados".
- NTE-ADZ "Zanjas y pozos".

ARTÍCULO 9.- RED HORIZONTAL DE SANEAMIENTO

Contempla el presente artículo las condiciones relativas a los diferentes aspectos relacionados con los sistemas de captación y conducción de aguas del subsuelo para protección de la obra contra la humedad. Se adoptan las condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial, control de la ejecución, criterios relativos a la prueba de servicio, criterios de valoración y normas para el mantenimiento del terreno, establecidas en la NTE "Saneamientos, Drenajes y Arrendamientos", así como lo establecido en la Orden de 15 de septiembre de 1986, del M.O.P.U.

ARTÍCULO 10.- CIMENTACIONES

Las secciones y cotas de profundidad serán las que la Dirección de la obra señale, con independencia de lo señalado en el Proyecto, que tienen carácter meramente informativo. No se rellenarán los cimientos hasta que lo ordene la Dirección de Obra. La Dirección de la obra queda facultada para introducir las cimentaciones especiales o modificaciones que juzgue oportuno en función de las características particulares que presente el terreno. Se adoptan las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en las normas:

- NTE-csz "Cimentaciones superficiales. Zapatas".
- NTE-csc "Cimentaciones superficiales corridas".
- NTE-csl "Cimentaciones superficiales. Losas".

ARTÍCULO 11.- FORJADOS

Regula el presente artículo los aspectos relacionados con la ejecución de forjados pretensados autoresistentes armados de acero o de cualquier otro tipo con bovedillas cerámicas de hormigón y fabricado en obra o prefabricado bajo cualquier patente. Las condiciones de ejecución, de seguridad en el trabajo, de control de ejecución, de valoración y de mantenimiento, son las establecidas en las normas NTE-EHU y NTE-EHR así como en el R.D. 1630/1980 de 18 de Julio y en la NTE-EAF.

ARTÍCULO 12.- HORMIGONES

Se refiere el presente artículo a las condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial relacionados con la ejecución de las obras de hormigón en masa o armado o pretensado fabricados en obra o prefabricados, así como las condiciones generales de ejecución, criterios de medición, valoración y mantenimiento. Regirá lo prescrito en la Instrucción EHE de hormigón estructural y la instrucción EP-93 para las obras de hormigón pretensado. Asimismo se adopta lo establecido en las normas NTE-EH "Estructuras de hormigón", y NTE-EME "Estructuras de madera. Encofrados". Las características mecánicas de los materiales y dosificaciones y niveles de control son las que se fijan en los planos del presente proyecto (Cuadro de características EHE y especificaciones de los materiales).

ARTÍCULO 13.- ACERO LAMINADO

Se establecen en el presente artículo condiciones relativas a los materiales y equipos industriales relacionados con los aceros laminados utilizados en las

estructuras de edificación, tanto en sus elementos estructurales, como en sus elementos de unión. Asimismo se fijan las condiciones relativas a la ejecución, seguridad en el trabajo, control de la ejecución, valoración y mantenimiento. Se adopta lo establecido en las normas:

- NBE-MV-102: "Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación". Se fijan los tipos de uniones, la ejecución en taller, el montaje en obra, las tolerancias y las protecciones.
- NBE-MV-103: "Acero laminado para estructuras de edificaciones", donde se fijan las características del acero laminado, la determinación de sus características y los productos laminados actualmente utilizados.
- NBE-MV-105: "Roblones de acero".
- NBE-MV-106: "Tornillos ordinarios calibrados para estructuras de acero".
- NTE-EA: "Estructuras de acero".
- NBE-EA/95. "Estructuras de acero en la edificación".

ARTÍCULO 14.- CUBIERTAS Y COBERTURAS

Se refiere el presente artículo a la cobertura de edificios con placas, tejas o plaquetas de fibrocemento, chapas finas o paneles formados por doble hoja de chapa con interposición de aislamiento de acero galvanizado, chapas de aleaciones ligeras, piezas de pizarra, placas de poliéster reforzado, cloruro de polivinilo rígido o polimetacrilato de metilo, tejas cerámicas o de cemento o chapas lisas de zinc, en el que el propio elemento proporciona la estanqueidad. Asimismo se regulan las azoteas y los lucernarios. Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial y control de la ejecución, condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son los especificados en las siguientes normas:

- NTE-QTF: "Cubiertas. Tejados de fibrocemento".
- NTE-QTG: "Cubiertas. Tejados galvanizados".
- NTE-QTL: "Cubiertas. Tejados de aleaciones ligeras".
- NTE-QTP: "Cubiertas. Tejados de pizarra".
- NTE-QTS: "Cubiertas. Tejados sintéticos".
- NTE-QTT: "Cubiertas. Tejados de tejas".
- NTE-QTZ: "Cubiertas. Tejados de zinc".
- NTE-QAA: "Azoteas ajardinadas".
- NTE-QAN: "Cubiertas. Azoteas no transitables".
- NTE-QAT: "Azoteas transitables".

- NTE-OLC: "Cubiertas. Lucernarios. Claraboyas".
- NTE-QLH: "Cubiertas. Lucernarios de hormigón translúcido".
- NBE-MV-301/1970 sobre impermeabilización de cubiertas con materiales bituminosos. (Modificada por RD 2085/86 de 12 de Septiembre).

ARTÍCULO 15.- ALBAÑILERÍA

Se refiere el presente artículo a la fábrica de bloques de hormigón, ladrillo o prefabricados y revestimientos de parámetros, suelos, escaleras u techos. Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial, control de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son las que especifican las normas:

- NTE-FFB: "Fachadas de bloque".
- NTE-FFL: "Fachadas de ladrillo".
- NTE-EFB: "Estructuras de fábrica de bloque".
- NTE-EFL: "Estructuras de fábrica de ladrillo".
- NTE-EFP: "Estructuras de fábrica de piedra".
- NTE-RPA: "Revestimiento de paramentos. Alicatados".
- NTE-RPE: "Revestimiento de paramento. Enfoscado".
- NTE-RPG: "Revestimiento de paramentos. Guarnecidos y enlucidos".
- NTE-RPP: "Revestimiento de paramentos. Pinturas".
- NTE-RPR: "Revestimiento de paramentos. Revocos".
- NTE-RSC: "Revestimiento de suelos continuos".
- NTE-RSF: "Revestimiento de suelos flexibles".
- NTE-RCS: "Revestimiento de suelos y escaleras continuos".
- NTE-RSS: "Revestimiento de escaleras y suelos. Soleras".
- NTE-RSB: "Revestimiento de suelo y escaleras. Terrazos".
- NTE-RSP: "Revestimiento de suelos y escaleras. Placas".
- NTE-RTC: "Revestimiento de techos. Continuos".
- NTE-PTL: "Tabiques de ladrillo".
- NTE-PTP: "Tabiques prefabricados".

ARTÍCULO 16.- CARPINTERÍA Y CERRAJERÍA

Se refiere el presente artículo a las condiciones de funcionalidad y calidad que han de reunir los materiales y equipos industriales relacionados con la ejecución y montaje de puertas, ventanas y demás elementos utilizados en particiones y accesos interiores. Asimismo, regula el presente artículo las condiciones de ejecución,

medición, valoración y criterios de mantenimiento. Se adoptará lo establecido en las normas NTE-PPA "Puertas de acero", NTE-PPM "Puertas de Madera", NTE-PPV "Puertas de vidrio", NTE-PMA "Mamparas de madera", NTE-PML "Mamparas de aleaciones ligeras".

ARTÍCULO 17.- AISLAMIENTOS

Los materiales a emplear y ejecución de la instalación de aislamiento estará de acuerdo con lo prescrito en la norma NBE-CT/79 sobre condiciones térmicas de los edificios que en su anexo 5 establece las condiciones de los materiales empleador para aislamiento térmico así como control, recepción y ensayos de dichos materiales, y en el anexo nº6 establece diferentes recomendaciones para la ejecución de este tipo de instalaciones. La medición y valoración de la instalación de aislamiento se llevará a cabo en la forma prevista en el presente proyecto.

ARTÍCULO 18.- RED VERTICAL DE SANEAMIENTO

Se refiere el presente artículo a la red de evacuación de aguas pluviales y residuos desde los puntos donde se recogen, hasta la acometida de la red de alcantarillado, fosa aséptica, pozo de filtración o equipo de depuración, así como a estos medios de evacuación. Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento son las establecidas en las normas:

- NTE-ISS: "Instalaciones de salubridad y saneamiento".
- NTE-ISD: "Depuración y vertido".
- NTE-ISA: "Alcantarillado".

ARTÍCULO 19.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas MIBT complementarias. Asimismo se adoptan las diferentes condiciones previstas en las normas:

- NTE-IEB: "Instalación eléctrica de baja tensión".
- NTE-IEE: "Alumbrado exterior".
- NTE-IEI: "Alumbrado interior".
- NTE-IEP: "Puesta a tierra".
- NTE-IER: "Instalaciones de electricidad. Red exterior".

ARTÍCULO 20.- INSTALACIONES DE FONTANERÍA

Regula el presente artículo las condiciones relativas a la ejecución, materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento de las instalaciones de abastecimiento y distribución de agua. Se adopta lo establecido en las normas:

- NTE-IFA: "Instalaciones de fontanería".
- NTE-IFC: "Instalaciones de fontanería. Agua caliente".
- NTE-IFF: "Instalaciones de fontanería. Agua fría".

ARTÍCULO 21.- INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN

Se refiere el artículo a las instalaciones de ventilación, refrigeración y calefacción. Se adoptan las condiciones relativas a funcionalidad y calidad de materiales, ejecución, control, seguridad en el trabajo, pruebas de servicio, medición, valoración y mantenimiento, establecidas en las normas:

- Reglamento de Seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas e instrucciones MIIF complementarias.
- Reglamentos vigentes sobre recipientes a presión y aparatos a presión.
- NTE-ICI: "Instalaciones de climatización industrial".
- NTE-ICT: "Instalaciones de climatización-torres de refrigeración".
- NTE-ID: "Instalaciones de depósitos".
- Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (R.D. 1618/1980 de 4 de Julio).
- NTE-ISV: "Ventilación".

ARTÍCULO 22.- INSTALACIONES DE PROTECCIÓN

Se refiere el presente artículo a las condiciones de ejecución, de los materiales de control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento, relativas a las instalaciones de protección contra fuegos y rayos. Se cumplirá lo prescrito en la norma NBE-CPI-91 y NBE-CPI-96 sobre condiciones de protección contra incendios y se adoptará lo establecido en la norma NTE-IPF "Protección contra el fuego", y EHE. Así como se adoptará lo establecido en la norma NTE-IPP "Pararrayos".

ARTÍCULO 23.- OBRAS O INSTALACIONES NO ESPECIFICADAS

Si en el transcurso de los trabajos fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones, el Contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba de la Dirección de la Obra quien, a su vez, cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El Contratista no tendrá derecho a reclamación alguna.

CAPÍTULO III: PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

EPÍGRAFE I.- OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA

ARTÍCULO 24.- REMISIÓN DE SOLICITUD DE OFERTAS

Por la Dirección Técnica se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente Proyecto para lo cual se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado Proyecto o un extracto con los datos suficientes. En el caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación. El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

ARTÍCULO 25.- RESIDENCIA DEL CONTRATISTA

Desde que se dé principio a las obras, hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo al de ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento de la Dirección de Obra y notificándole expresamente, la persona que, durante su ausencia le ha de representar en todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de la contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia, designada como oficial, de la Contrata en los documentos del proyecto, aún en ausencia o negativa de recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

ARTÍCULO 26.- RECLAMACIONES CONTRA LAS ÓRDENES DE DIRECCIÓN

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas de la Dirección de Obra, solo podrá presentarlas a través del mismo ante la propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la Dirección de Obra, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida al Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

ARTÍCULO 27.- DESPIDO POR INSUBORDINACIÓN, INCAPACIDAD Y MALA FE

Por falta del cumplimiento de las instrucciones de la Dirección de Obra o sus subalternos de cualquier clase, encargados de la vigilancia de las obras; por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando la Dirección de Obra lo reclame.

ARTÍCULO 28.- COPIA DE LOS DOCUMENTOS

El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los Pliegos de Condiciones, presupuestos y demás documentos de la contrata. La Dirección de la Obra, si el Contratista solicita estos, autorizará las copias después de contratadas las obras.

EPÍGRAFE II.- TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES

ARTÍCULO 29.- LIBRO DE ÓRDENES

En la casilla y oficina de la obra, tendrá el Contratista el Libro de Ordenes, en el que se anotarán las que la Dirección de Obra precise dar en el transcurso de la obra. El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho Libro es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

ARTÍCULO 30.- COMIENZO DE LOS TRABAJOS Y PLAZO DE EJECUCIÓN

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación: previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el artículo 7. El adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la

fecha de adjudicación. Dará cuenta al Director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo este dar acuse de recibo. Las obras quedarán terminadas dentro del plazo establecido. El Contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial del Trabajo.

ARTÍCULO 31.- CONDICIONES GENERALES DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las "Condiciones Generales de índole Técnica" del "Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación" y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento. Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la Dirección de Obra o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

ARTÍCULO 32.- TRABAJOS DEFECTUOSOS

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la Dirección de Obra o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrán disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si esta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá de acuerdo con lo establecido en el artículo 35.

ARTÍCULO 33.- OBRAS Y VICIOS OCULTOS

Si la Dirección de Obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos. Los gastos de la demolición y de la

reconstrucción que se ocasionen, será de cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente; en caso contrario correrán a cargo del propietario.

ARTÍCULO 34.- MATERIALES NO UTILIZABLES O DEFECTUOSOS

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por la Dirección de Obra, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto del Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones, vigente en la obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. antes indicados serán a cargo del Contratista. Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, la Dirección de Obra dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos o, a falta de estos, a las órdenes de la Dirección de Obra.

ARTÍCULO 35.- MEDIOS AUXILIARES

Es obligación de la Contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras aún cuando no se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga la Dirección de Obra y dentro de los límites de posibilidad que los presupuestos determinen para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

Será de cuenta y riesgo del Contratista, los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo por tanto, al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares. Serán asimismo de cuenta del Contratista, los medios auxiliares de protección y señalización de la obra, tales como vallado, elementos de protección provisionales, señales de tráfico adecuadas, señales luminosas nocturnas, etc. y todas las necesarias para evitar accidentes previsibles en función del estado de la obra y de acuerdo con la legislación vigente.

EPÍGRAFE III.- RECEPCIÓN Y LIQUIDACIÓN

ARTÍCULO 36.- RECEPCIONES PROVISIONALES

Para proceder a la recepción provisional de las obras será necesaria la asistencia del Propietario, de la Dirección de la Obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado. Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por percibidas provisionalmente, comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía, que se considerará de tres meses. Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el acta y se especificarán en la misma las precisas y detalladas instrucciones que la Dirección de Obra debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijándose un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Después de realizar un escrupuloso reconocimiento y si la obra estuviese conforme con las condiciones de este Pliego, se levantará un acta por duplicado, a la que acompañarán los documentos justificantes de la liquidación final. Una de las actas quedará en poder de la propiedad y la otra se entregará al Contratista.

ARTÍCULO 37.- PLAZO DE GARANTÍA

Desde la fecha en que la recepción provisional quede hecha, comienza a contarse el plazo de garantía que será de un año. Durante este período, el Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables a defectos y vicios ocultos.

ARTÍCULO 38.- CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS RECIBIDOS PROVISIONALMENTE

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuere menester para su buena conservación, abonándose todo aquello por cuenta de la contrata. Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de recesión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que la Dirección de Obra fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más

herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y par los trabajos que fuere preciso realizar. En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente "Pliego de Condiciones Económicas". El Contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

ARTÍCULO 39.- RECEPCIÓN DEFINITIVA

Terminado el plazo de garantía, se verificará la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las obras están bien conservadas y en perfectas condiciones, el Contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica; en caso contrario se retrasará la recepción definitiva hasta que, a juicio de la Dirección de la Obra, y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinan en este Pliego. Si el nuevo reconocimiento resultase que el Contratista no hubiese cumplido, se declarará rescindida la contrata con pérdida de la fianza, a no ser que la propiedad crea conveniente conceder un nuevo plazo.

ARTÍCULO 40.- LIQUIDACIÓN FINAL

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación, que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del Proyecto, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección Técnica con sus precios. De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la propiedad con el visto bueno de la Dirección de Obra.

ARTÍCULO 41.- LIQUIDACIÓN EN CASO DE RESCISIÓN

En este caso, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la rescisión.

EPÍGRAFE IV.- FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE OBRAS

ARTÍCULO 42.- FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE OBRAS

Además de todas las facultades particulares, que corresponden al Director, expresadas en los artículos precedentes, es misión específica suya la Dirección de

Obra y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen bien por sí o por medio de sus representantes técnicos y ello con autoridad técnica legal, completa e indiscutible, incluso en todo lo no previsto específicamente en el "Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación", sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de los edificios y obras anejas se lleven a cabo, pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar al Contratista, si considera que el adoptar esta resolución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

CAPÍTULO IV: PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

EPÍGRAFE I.- BASE FUNDAMENTAL

ARTÍCULO 43.- BASE FUNDAMENTAL

Como base fundamental de estas "Condiciones Generales de Índole Económica", se establece el principio de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción y Condiciones Generales particulares que rigen la construcción del edificio y obra aneja contratada.

EPÍGRAFE II.- GARANTÍAS DE CUMPLIMIENTO Y FIANZAS

ARTÍCULO 44.- GARANTÍAS

La Dirección de Obra podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del Contrato; dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del Contrato.

ARTÍCULO 45.- FIANZAS

Se podrá exigir al Contratista, para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10 % del presupuesto de las obras adjudicadas.

ARTÍCULO 46.- EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS CON CARGO A LA FIANZA

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones tratadas, la Dirección de Obra, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o directamente por

administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

ARTÍCULO 47.- DEVOLUCIÓN DE LA FIANZA

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmado el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificado del Alcalde del Distrito Municipal en cuyo término se halla emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

EPÍGRAFE III.- PRECIOS Y REVISIONES

ARTÍCULO 48.- PRECIOS CONTRADICTORIOS

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma. El Adjudicatario formulará por escrito bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad. La Dirección técnica estudiará el que, según su criterio, deba utilizarse. Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección Técnica el Acta de Avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuese salvado por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio. Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, el Sr. Director propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Adjudicatario o, en otro caso, la segregación de la obra o instalación nueva para ser ejecutada por administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de proceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese comenzado el Adjudicatario estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle el Sr. Director y a concluir la satisfacción de éste.

ARTÍCULO 49.- RECLAMACIONES DE AUMENTO DE PRECIOS

Si el Contratista antes de la firma del Contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error y omisión reclamar

aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras. Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión de contrato, señalados en los documentos relativos a las "Condiciones Generales o Particulares de Índole Facultativa", sino en el caso de que la Dirección de Obra o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de 4 meses contados desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

ARTÍCULO 50.- REVISIÓN DE PRECIOS

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello, que no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que es característica de determinadas épocas anormales, se admite durante ellas, la revisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en anomalía con las oscilaciones de los precios en el mercado.

Por ello y en los casos de revisión en alza, el Contratista puede solicitarla del Propietario, en cuanto se produzca cualquier alteración de precio, que repercuta, aumentando los contratos. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado, y por causa justificada, especificándose y acordándose también previamente, la fecha a partir de la cual se aplicará el precio revisado y elevado, para lo cual se tendrá en cuenta y cuando así proceda, el acopio de materiales de obra en el caso de que estuviesen total o parcialmente abonados por el propietario.

Si el propietario o la Dirección de Obra, en su representación, no estuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, y éste la obligación de aceptarlos, los materiales, transportes, etc., a precios inferiores a los pedidos por el Contratista, en cuyo caso lógico y natural, se

tendrán en cuenta para la revisión, los precios de los materiales, transportes, etc. adquiridos por el Contratista merced a la información del propietario.

Cuando el propietario o la Dirección de Obra, en su representación, no estuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc. concertará entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad por la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezarán a regir los precios revisados. Cuando entre los documentos aprobados por ambas partes, figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

ARTÍCULO 51.- ELEMENTOS COMPRENDIDOS EN EL PRESUPUESTO

Al fijar los precios de las diferentes unidades de obra en el presupuesto, se ha tenido en cuenta el importe de andamio, vallas, elevación y transporte del material, es decir, todos los correspondientes a medios auxiliares de la construcción, así como toda suerte de indemnizaciones, impuestos, multas o pagos que tengan que hacerse por cualquier concepto, con los que se hallen gravados o se graben los materiales o las obras por el Estado, Provincia o Municipio. Por esta razón no se abonará al Contratista cantidad alguna por dichos conceptos. En el precio de cada unidad también van comprendidos unos materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra completamente terminada y en disposición de recibirse.

EPÍGRAFE IV.- VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS

ARTÍCULO 52.- VALORACIÓN DE LA OBRA

La medición de la obra concluida se hará por el tipo de unidad fijada en el correspondiente presupuesto. La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra, el precio que tuviese asignado en el Presupuesto, añadiendo a este importe el de los tantos por ciento que correspondan al beneficio industrial y descontando el tanto por ciento que corresponda a la baja en la subasta hecha por el Contratista.

ARTÍCULO 53.- MEDICIONES PARCIALES Y FINALES

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de cuyo acto se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista. En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición de los documentos que

se le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

ARTÍCULO 54.- EQUIVOCACIONES EN EL PRESUPUESTO

Se supone que el Contratista ha hecho detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios de tal suerte, que la obra ejecutada con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna. Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

ARTÍCULO 55.- VALORACIÓN DE OBRAS INCOMPLETAS

Cuando por consecuencia de rescisión u otras causas fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

ARTÍCULO 56.- CARÁCTER PROVISIONAL DE LAS LIQUIDACIONES PARCIALES

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final. No suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación y recepción de las obras que comprenden. La propiedad se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la Obra, a cuyo efecto deberá presentar el Contratista los comprobantes que se exijan.

ARTÍCULO 57.- PAGOS

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las Certificaciones de obra expedidas por la Dirección de Obra, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

ARTÍCULO 58.- SUSPENSIÓN POR RETRASO DE PAGOS

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutarlos a menor ritmo del que les corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

ARTÍCULO 59.- INDEMNIZACIÓN POR RETRASO DE LOS TRABAJOS

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista por causas de retraso no justificado, en el plazo de terminación de las obras contratadas, será: el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

ARTÍCULO 60.- INDEMNIZACIÓN POR DAÑOS DE CAUSA MAYOR AL CONTRATISTA

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas, averías o perjuicio ocasionados en las obras, sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se considerarán como tales casos únicamente los que siguen:

- Los incendios causados por electricidad atmosférica.
- Los daños producidos por terremotos y maremotos.
- Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de ríos superiores a las que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que el Contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios, para evitar o atenuar los daños.
- Los que provengan de movimientos del terreno en que estén construidas las obras.
- Los destrozos ocasionados violentamente, a mano armada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.
- La indemnización se referirá, exclusivamente al abono de las unidades de obra ya ejecutadas o materiales acopiados a pie de obra.

EPÍGRAFE V.- VARIOS

ARTÍCULO 61.- MEJORAS DE OBRAS

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que la Dirección de Obra haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el

Contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que la Dirección de Obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

ARTÍCULO 62.- SEGURO DE LOS TRABAJOS

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en todo momento, con el valor que tengan, por Contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la Sociedad Aseguradora en caso de siniestro, se ingresará a cuenta a nombre del propietario para que con cargo a ella, se abone la obra que se construya y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecha en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no le hubiesen abonado, pero solo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por la Dirección de Obra.

En las obras de reforma o reparación se fijará, previamente, la proporción de edificio que se debe asegurar y su cuantía. Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguros, los pondrá el Contratista antes de contratarlos en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

CAPITULO V: PLIEGO DE CONDICIONES LEGALES

ARTÍCULO 63.- JURISDICCIÓN

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrados en número igual por ellas y presidido por la Dirección de la Obra, en último término, a los Tribunales de Justicia del lugar en que radique la propiedad, con expresa renuncia del fuero domiciliario. El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que compone el Proyecto. El Contratista se obliga a lo establecido en la ley de Contratos de Trabajo y además a lo dispuesto por la de Accidentes de Trabajo, Subsidio Familiar y Seguros Sociales. Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas del lindero y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad. Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento de la Dirección de la Obra. El Contratista es responsable de toda falta relativa a la política Urbana y a las Ordenanzas Municipales a estos aspectos vigentes en la localidad en que la edificación está emplazada.

ARTÍCULO 64.- ACCIDENTES DE TRABAJO Y DAÑOS A TERCEROS

En casos de accidentes ocurridos con motivo y en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que por ningún concepto, pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes, no sólo en los andamio, sino en todos los lugares peligrosos de la obra. De los accidentes o perjuicios de todo género que, no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será éste el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales. El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, de todos los

daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras. El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir, cuando ello fuera requerido, el justificante de tal cumplimiento.

ARTÍCULO 65.- PAGO DE ARBITRIOS

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras por concepto inherente a los propios trabajos que se realizan correrá a cargo de la Contrata, siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, el Contratista deberá ser reintegrado del importe de todos aquellos conceptos que la Dirección de Obra considere justo hacerlo.

ARTÍCULO 66.- CAUSAS DE RESCISIÓN DEL CONTRATO

Se considerarán causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

- La muerte o incapacidad del Contratista.
- La quiebra del Contratista.
- En los casos anteriores, si los herederos o síndicos ofrecieran de llevar a cabo las obras, bajo las mismas condiciones estipuladas en el Contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquellos derechos a indemnización alguna.
- Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:
- La modificación del Proyecto en forma tal que presente alteraciones fundamentales del mismo, a juicio de la Dirección de Obra y, en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente, en más o menos del 40 %, como mínimo, de algunas unidades del Proyecto modificadas.
- La modificación de unidades de obra, siempre que estas modificaciones representen variaciones en más o menos, del 40 %, como mínimo de las unidades del Proyecto modificadas.
- La suspensión de la obra comenzada y, en todo caso, siempre que, por causas ajenas a la Contrata, no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses, a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza será automática.

- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido un año.
- El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.
- El incumplimiento de las condiciones del Contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.
- La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haberse llegado a ésta.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La mala fe en la ejecución de los trabajos.

DOCUMENTO N° 5.

EVALUACIÓN

ECONÓMICO-FINANCIERA

ÍNDICE DEL DOCUMENTO Nº 5

1. INTRODUCCIÓN	327
2. CAPITAL	327
2.1. CAPITAL INMOVILIZADO.....	327
2.2. CAPITAL CIRCULANTE	327
3. COSTES	328
4. VENTAS	335
5. OTRAS VARIABLES	337
5.1. DEPRECIACIÓN O AMORTIZACIÓN, VIDA ÚTIL E IMPUESTOS	337
5.2. UMBRAL DE RENTABILIDAD O PUNTO MUERTO	339
6. VIABILIDAD DEL PROYECTO. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	340
6.1. RENTABILIDAD NETA PORCENTUAL	340
6.2. PLAZO DE RECUPERACIÓN O PAY-BACK	340
6.3. VALOR ACTUAL NETO (VAN)	341
6.4. TASA INTERNA DE RENDIMIENTO (TIR)	342
6.5. TASA DE VALOR ACTUAL.....	342
6.6. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD O SENSIBILIDAD	342
6.7. CONCLUSIÓN	347

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se realiza un análisis para conocer si el proyecto de la instalación de jabón líquido a partir de aceites vegetales usados es rentable desde el punto de vista económico, es decir que genera beneficios monetarios. Este análisis consiste en estimar los costes necesarios para llevar a cabo el proyecto, con los siguientes objetivos:

- Conocer los conceptos contables a tener en cuenta.
- Estimar el capital total invertido en el mismo.
- Estimar los costes de fabricación o producción.
- Valorar la rentabilidad de la instalación.

Estos factores nos indicarán si el proyecto es viable o no.

2. CAPITAL

El capital se compone del capital inmovilizado y del capital circulante.

2.1. CAPITAL INMOVILIZADO

Es el capital necesario para poner en marcha el proceso, integrado por el capital invertido en la adquisición de la maquinaria y equipos, acondicionamiento del terreno, edificios, etc.

En el caso particular que nos ocupa, la industria química, el capital inmovilizado incluye las siguientes partidas (tabla D5.1):

1. Maquinaria y aparatos	8. Instalaciones auxiliares (luz, agua, vapor, etc.)
2. Gastos de instalación de 1	9. Honorarios del proyecto y dirección de montaje
3. Tuberías y valvulería	10. Contrata de obras
4. Instrumentos de medición y control	11. Gastos imprevistos
5. Aislamientos caloríficos	12. Gastos de gestión y constitución
6. Instalación eléctrica	13. Gastos previos de investigación y estudio
7. Preparación del terreno. Edificios	14. Gastos de puesta a punto

Tabla D5.1. Partidas generales de capital inmovilizado en una industria química. ^[2]

2.2. CAPITAL CIRCULANTE

Es el capital necesario para mantener el ciclo de producción, es decir, para que la fábrica siga en funcionamiento. Incluye el importe de las materias primas y auxiliares, productos intermedios y terminados existentes en el almacén, las ventas efectuadas no cobradas y las cuentas a pagar.

En la tabla D5.2 se muestran las partidas que incluye normalmente:

Realizable	
1. Valor de las materias primas en existencia	
2. Valor de los productos en ciclo de fabricación	Disponible
3. Valor de los productos terminados existentes	6. Existencias en Caja
4. Valor de los productos vendidos pendientes de cobro	7. Depósitos en Bancos
5. Repuestos de maquinaria existentes en almacén	8. Depósitos de Valores

Tabla D5.2: Partidas generales de capital circulante en una industria química. [2]

3. COSTES

Son los gastos derivados de la fabricación del producto. Principalmente se pueden clasificar en dos grupos:

- Costes fijos: aquellos costes que son independientes del volumen de producción, que no varían sea cual sea la cantidad producida. Son los relacionados con la necesidad de contar con edificios, instalaciones, gastos de constitución, permiso de apertura, etc.

Corresponden a factores o insumos no fungibles, es decir que no se consumen con un solo uso sino que son duraderos, tienen una vida útil de varios años y su incorporación al producto es paulatina. Este tipo de insumos precisa de una provisión financiera para su reposición al final de su vida útil, lo que constituye el concepto contable de *amortización por depreciación de activos no fungibles*.

En la presente memoria los costes fijos incluyen los costes de equipos y de instalaciones (tablas D5.3 y D5.4, respectivamente). [1] y [2]

[1] López Ruíz, E. (2010). "Apuntes de Economía y organización industrial". Universidad de Almería.

[2] Ación Fernández, F. G. (2010). "Apuntes de Química Industrial". Universidad de Almería.

Equipo ^[4]	ud.	Precio unitario (€/ud.) ^[6, 10]	Precio total (€)	%
Báscula	1	1.200,00	1.200,00 €	0,30%
Balsa 24 m ³	1	3.400,00	3.400,00 €	0,85%
Filtro 3,5 m x3,5 m	1	2.240,00	2.240,00 €	0,56%
Sedimentador 24,5 m ³	2	36.000,00	72.000,00 €	17,99%
Serpentín	2	8.465,00	16.930,00 €	4,23%
Centrífuga de cámara y discos (Gea Westfalia) ^[6]	1	54.800,00	54.800,00 €	13,69%
Tanque almacenamiento vertical (H/D=1,8)	2	1.650,00	3.300,00 €	0,82%
Reactor 6 m ³	1	65.650,00	65.650,00 €	16,41%
Camisa termostatación	1	1.560,00	1.560,00 €	0,39%
Agitador tipo hélice	2	2.300,00	4.600,00 €	0,57%
Mezclador (H/D=2)	3	6.100,00	18.300,00 €	4,57%
Agitador tipo turbina	1	1.100,00	1.100,00 €	0,82%
Tanque almacenamiento horizontal (H/D=2,6)	1	2.200,00	2.200,00 €	0,55%
Unidad de ósmosis inversa	1	23.000,00	23.000,00 €	5,75%
Tanque almacenamiento vertical (H/D=1,8)	3	7.350,00	22.050,00 €	5,51%
Envasadora, taponadora, etiquetadora (Lleal) ^[7]	1	40.000,00	40.000,00 €	10,00%
Caldera (Servitec) ^[8]	1	34.800,00	34.800,00 €	8,70%
Bomba centrífuga	18	1.030,70	19.583,30 €	4,89%
Bomba peristáltica	1	2.425,00	2.425,00 €	0,61%
Termopar	3	199,00	597,00 €	0,15%
Caudalímetro	6	176,00	1.056,00 €	0,26%
Sensor pH	2	200,00	400,00 €	0,10%
Válvula compuerta manual	16	140,00	2.240,00 €	0,56%
Válvula aguja control	9	175,00	1.575,00 €	0,39%
Válvula bola 3 vías control	3	220,00	660,00 €	0,16%
Tuberías (m)	118	33,10	3.905,60 €	0,98%
Accesorios	25	28,00	700,00 €	0,17%
total MEC			400.171,90 €	100,00%

Tabla D5.3: Costes fijos por equipos de proceso e instalaciones.

Los costes fijos asociados a instalación, a su vez se subdividen en:

- Costes directos (CD): aquellos que corresponden a la fabricación de un determinado producto. Están íntimamente relacionados con la actividad principal. Son los costes de materias primas, de mano de obra, patentes y costes especiales diversos.

[4] Perry, Robert H., Green, Don W. (1999). "Perry's chemical engineers's handbook". 7ª edición. McGraw-Hill

[6] Precios de equipos: <http://www.matche.com/>

[7] Centrífuga: <http://www.flottweg.de/spain/>

[8] Envasadora: <http://www.lleal.com/es/>

[9] Caldera: <http://www.hgservitec.es/>

[10] Precios: <http://spanish.alibaba.com/>

- Costes indirectos (CI): por el contrario, son aquellos sostenidos inseparablemente para varios productos o varias secciones o procesos productivos. Se apoyan en torno a la actividad o función principal. Son llamados también gastos generales de fabricación.
- Otros costes o gastos (OG): aquellos que no son directos ni indirectos.

Los costes directos e indirectos se calculan como fracciones del total de los equipos, llamado MEC. [3] y [5]

COSTES DIRECTOS (CD)			
<i>Instalaciones adicionales</i>	% (respecto a MEC)	Coste (€)	%
Equipos necesarios (MEC)		400.171,90 €	25,82%
Costes de instalación	0,4	160.068,76 €	10,33%
Instrumentación y control	0,15	60.025,79 €	3,87%
Tuberías	0,4	160.068,76 €	10,33%
Instalación eléctricas (interno)	0,1	40.017,19 €	2,58%
Edificios	0,1	40.017,19 €	2,58%
Facilidades de servicio (accesos)	0,2	80.034,38 €	5,16%
Acondicionamiento del terreno	0,1	40.017,19 €	2,58%
Terreno	0,06	24.010,31 €	1,55%
total CD:		10.04431,47 €	

COSTES INDIRECTOS (CI)			
<i>Instalaciones adicionales</i>	factor	Coste (€)	%
Ingeniería y supervisión	0,2	80.034,38 €	5,16%
Obra civil	0,2	80.034,38 €	5,16%
total CI:		160.068,76 €	

OTROS GASTOS (OG)			
Honorarios del contratista	0,05*(CD+CI)	58.225,01 €	3,76%
Contingencias	0,1*(CD+CI)	116.450,02 €	7,51%
Impuesto de compra	0,21*CD	210.930,61 €	13,61%
total OG:		385.605,64 €	
Total1 = (CD+CI+OG):		1.550.105,87 €	100,00%

Tabla D5.4: Costes fijos de instalaciones.

[3] Sánchez Mirón, A., Robles Medina, A. (2009). "Apuntes Diseño de equipos e instalaciones". Universidad de Almería.

[5] Peters, Max S., Timmerhaus, Klaus D. (2003). "Plant design and economics for chemical engineers". Editorial McGraw-Hill

Redondeando el valor final de la tabla D5.4 (Total1), los costes ascienden a 1.550.106 €. A esta cantidad hay que asociarle otros costes adicionales no incluidos aún (tabla D5.5), como son el mantenimiento, los impuestos y seguros:

Costes por mantenimiento (€)	(0,025*Total1)	38.752,65 €
Impuestos (€)	(0,1* Total1)	155.010,59 €
Seguro anual (€)	(0,01* Total1)	15.501,06 €
TOTAL GLOBAL:		1.759.370,16 €

Tabla D5.5: Costes fijos totales de toda la planta.

Los costes variables, son aquellos que varían al modificar el volumen de unidades productivas. Dependen de la producción de la planta.

Como se comentó en la memoria descriptiva (punto 9) la planta de producción operará durante 241 días al año, de lunes a viernes, en dos turnos de 8 horas, uno de mañana (de 6:00 a 14:00 h) y otro de tarde (de 14:00 a 22:00 h).

Estos costes incluyen las materias primas, suministros, los gastos de personal, gastos de mantenimiento limpieza, logística y almacenamiento, distribución, etc.

COSTES DE MATERIAS PRIMAS					
Concepto	Unidad	(€/Ud.)	Consumo Diario (ud.)	Consumo Anual (ud.)	Total anual (€)
AVU	Tm	450	2,5	602,50	271.125,00 €
KOH	Tm	945	0,45	107,70	101.774,69 €
KCl	Tm	330	0,25	60,25	19.882,50 €
Agua	m ³	1,205	9,36	2.254,97	1.630,34 €
Pigmentos, aromas	Tm	239	0,39	92,79	22.175,62 €
Envases (250, 500 ml)	Ud.	0,12	10.000	2.410.000	289.200,00 €
Total materias primas:					705.788,14 €

Tabla D5.6: Costes referidos a las materias primas^[11, 12].

Los costes referidos a requerimientos eléctricos están formados por el gasto eléctrico de los distintos aparatos y maquinaria de la planta, bombas, centrífuga, agitadores, envasadora, equipos adicionales, luz, ordenadores, etc.

[11] Precios materias primas: <http://www.gustavheess.com/>

[12] Precios materias primas: <http://www.polymett.com>

REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS					
Equipo	P (kW)	t accionamiento (h)	Cantidad	P_{total} (kWh/día)	P_{total} (kWh/año)
Bomba centrífuga	1,49	5,00	19	141,55	34.113,55
Bomba peristáltica	2,98	3,00	1	8,94	2.154,54
Centrífuga de discos	5,50	2,50	1	13,75	3.313,75
Agitador tipo hélice (reactor)	7,58	4,00	1	30,34	7.310,93
Agitador tipo turbina	7,10	0,33	2	4,73	1.140,73
Agitador tipo hélice (mezclador)	7,23	0,50	1	3,61	871,07
Envasadora	16,56	3,00	1	49,68	11.972,88
Equipo adicional	0,35	5,00	1	1,77	425,98
Total requerimiento eléctrico:				254,37	61.303,43

Tabla D5.7: Costes por requerimientos eléctricos.

En base al consumo de potencia diaria que se ha estimado (254 kWh), se ha decidido realizar un contrato con una empresa de energía eléctrica (Endesa). Se ha contratado una tarifa válida para industrias con una potencia ≤ 450 kW (tabla D5.8).

Para el correcto cálculo de la tarifa eléctrica, se han tenido en cuenta datos actuales (de enero de 2014) de las cuotas para instalaciones eléctricas correspondientes a una empresa-tipo de nuestro sector industrial. Además, se ha calculado con una cuota fija según la potencia contratada y una cuota variable, dependiendo de la hora del día en la que nos encontremos (punta, llano y valle), siempre en términos anuales.

TARIFA OPTIMA: ≤ 450 kW	Punta	Llano	Valle
Término Potencia (fijo)	57,907043 €/kW y año	35,709718 €/kW y año	8,188645 €/kW y año
Término Energía (variable)	0,106914 €/kWh	0,091988 €/kWh	0,066881 €/kWh

Tabla D5.8: Cuotas según franja horaria para una potencia contratada ≤ 450 kW^[17]

En base a la tabla D5.9, el valor de los gastos anuales en concepto de energía eléctrica que la instalación requiere, son los siguientes:

[14] <https://www.adescosa.com/>

[16] <http://www.galasa.es/>

[17] <http://www.endesaonline.com>

CUOTA ANUAL DE LUZ			
	<i>(h/día)</i>	<i>Cuota variable (€)</i>	<i>Cuota fija (€)</i>
Tarifa punta	10	2.809,74	6.137,76
Tarifa llano	6	1.409,98	2.270,90
Tarifa valle	8	1.226,07	694,43
		5.445,79	9.103,09
Total anual:			14.548,88 (€/año)
Total diario:			60,37 (€/día)

Tabla D5.9: Cálculo de gasto anual de energía eléctrica.

El otro tipo de suministro que se consume en gran cantidad en la instalación, es el agua. Ésta se usa para limpiar los equipos, para el laboratorio, los lavabos y vestuarios, limpieza en general de suelos, etc. Cabe destacar que en el apartado de materias primas anteriormente descrito (tabla D5.6), también se incluyó el agua como tal, ya que es necesaria para llevar a cabo la reacción química y poder producir el jabón líquido, por eso se ha desglosado en dos partidas diferentes, como materia prima y como suministro para otros usos. La empresa encargada del suministro en la zona donde se encuentra la instalación, es Galasa (Gestión de Aguas del Levante Almeriense S.A.). El consumo medio se ha estimado en la tabla D5.10:

SUMINISTRO DE AGUA				
<i>Consumo medio estimado</i>		<i>Cuota fija (€/año)</i>	<i>Cuota variable (€/m³ y año)</i>	Coste (€)
<i>Anual (m³/año)</i>	<i>Diario (m³/día)</i>			
1000	4,15	857,4	1,205	824,96

Tabla D5.10: Costes anuales para el suministro de agua ^[14, 16]

Los costes de personal, salarios anuales y nóminas y otros gastos imputables a la producción se muestran en la tabla D5.11:

COSTES DE PERSONAL			
	<i>nº</i>	<i>Salario bruto anual</i>	<i>(€/año)*</i>
Operarios de planta	8	11.995,00	129.546,00 €
Auxiliar administrativo	1	13.450,00	18.157,50 €
Ingeniero de producción	1	24.560,00	33.156,80 €
Gerente	1	43.220,00	58.347,00 €
Supervisión/mecánico	1	18.340,00	24.759,00 €
Técnico laboratorio control calidad	1	15.320,00	20.682,00 €
Precios nóminas (asesoría)	13	390,00	4.680,00 €
Total personal:			289.327,50 €

*Se han supuesto los gastos de Seguridad Social por parte de la empresa como un 35%

OTROS COSTES IMPUTABLES A LA PRODUCCIÓN		
Gastos de laboratorio	1	12.430,00 €
Revisiones planta	1	32.000,00 €
Gastos logística (almacenamiento y distribución)	1	126.700,00 €
Gastos marketing y comerciales	1	54.500,00 €
Gastos E.D.A.R	1	6.000,00 €
Contingencias, imprevistos	1	32.000,00 €
Total otros:		263.630,00 €

Tabla D5.11: Costes anuales de personal y otros costes imputados a la producción. [15, 21]

La suma total de todos los costes variables asociados a la producción es:

$$\begin{aligned}
 CV_{\text{producción}} &= \sum_{i=1}^n CV_i = CV_{\text{materias primas}} + CV_{\text{suministro eléctrico}} \\
 &+ CV_{\text{personal}} + CV_{\text{otros}} \\
 CV_{\text{producción}} &= 1.274.119,49 \text{ €}
 \end{aligned}
 \quad [\text{Ec. D5.1}]$$

Por tanto, para conocer los costes totales que tenemos en nuestra instalación, será necesario sumar los costes fijos y los variables que hemos calculado antes:

$$CT = CF_{\text{equipos}} + CF_{\text{instalaciones}} + CV_{\text{producción}} \quad [\text{Ec. D5.2}]$$

El valor final obtenido para los costes totales ha sido:

$$CT = 3.033.489,65 \text{ €}$$

El porcentaje que suponen los costes asociados a los equipos e instalaciones es del 58%, mientras que para los costes de producción es del 42%.

[15] <http://www.antas.es/>

[21] http://www.seg-social.es/Internet_1/index.htm

4. VENTAS

Las ventas son los ingresos anuales obtenidos por las ventas realizadas y cobradas. El mercado es el escenario, real o virtual (ventas *on-line*), en el que coinciden los agentes que quieren comprar y los que quieren vender. Generalmente, las cantidades adquiridas o demandadas aumentan si los precios bajan, y las ofrecidas bajan en igual circunstancia. El punto de intersección corresponde con el equilibrio entre las cantidades (q) que son objeto de transacción y sus correspondientes precios (p). El punto de equilibrio es la intersección de ambas curvas y donde se cumple la ley de la oferta y la demanda.

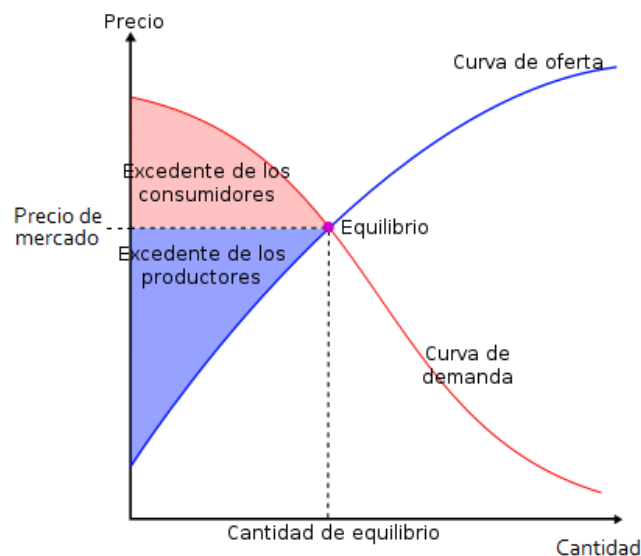


Figura D5.1: Ley de la oferta y la demanda general.

Las ventas dependen de la producción anual que tengamos de jabón líquido. Se producen al año 1.670.305 unidades, distribuidas en botes de capacidad 500 mL de jabón líquido. El precio de coste de cada bote de 500 mL es de 0,76 €.

A la vista de la competencia existente en el mercado de los jabones naturales elaborados con aceites vegetales usados, se estima que, un precio de venta (PV) antes del IVA, de 2,25 €/u., garantiza un beneficio razonable y permite captar una cuota de mercado suficiente. El precio de venta al público con impuestos incluidos (IVA), es decir el PVP, sería de 2,72 €/u.

Las ventas son también llamadas ingresos totales, y con la ecuación D5.3 (consultar en tabla D5.12 de la página siguiente), se ha obtenido un valor de:

$$IT = 3.758.185,83 \text{ €}$$

y una producción de: $Q = 1.670.305$ (botes/año)

Ingresos totales (IT)	3.758.185,83 €		
		B (€/bote)	
Beneficios brutos (BB)	724.696,18 €	0,43 €	56,88%
- Depreciación	81.853,34 €		
Beneficios económicos (BE)	642.842,84 €	0,38 €	50,45%
- Intereses préstamo	346.904,34 €		
Beneficios netos (BN)	295.938,50 €	0,18 €	23,23%
- Impuesto sociedades	73.984,62 €		
Beneficios líquidos (BL)	221.953,87 €	0,13 €	17,42%

CONCEPTUALIZACIÓN	IDENTIDADES	
Q: Cantidad de producto		
PC: Precio de Coste		
CF: Costes Fijos		
CV: Costes Variables	$CV=Q \cdot PC$	[Ec. D5.1]
CT: Costes Totales	$CT=CF+CV$	[Ec. D5.2]
PV: Precio de Venta		
IT: Ingresos Totales	$IT=Q \cdot PV$	[Ec. D5.3]
D: Depreciación amortizada		
F: Gastos financieros (intereses préstamo)		
t: Tasa porcentual del Impuesto de Sociedades		
BB: Beneficios Brutos	$BB=IT-CT$	[Ec. D5.4]
BE: Beneficios Económicos	$BE=BB-D$	[Ec. D5.5]
BN: Beneficios Netos	$BN=BE-F$	[Ec. D5.6]
BL: Beneficios Líquidos	$BL=BN \cdot (1-t)$	[ec. 7]

**El impuesto de sociedades se ha supuesto del 25%*

Tabla D5.12: Cálculo de beneficios brutos y netos.

En términos estrictos, de los beneficios líquidos (después del Impuesto de Sociedades) habría que deducir el coste económico implícito, en términos de coste de oportunidad, que representa la inversión alternativa al préstamo percibido, los fondos propios de 250.000 € sin intereses (se cita más abajo al hablar del préstamo bancario).

Por ejemplo, al 3% de interés anual, representaría 7.500 €/año, por lo que los beneficios líquidos del primer año se verían reducidos a 214.453,87 €.

No obstante, lo habitual en términos contables es prescindir de esa imputación de costes implícitos. Además, en nuestro caso representa una cantidad poco significativa respecto al total de beneficios líquidos.

5. OTRAS VARIABLES

5.1. DEPRECIACIÓN O AMORTIZACIÓN, VIDA ÚTIL E IMPUESTOS ^[18]

La depreciación o amortización es el coste equivalente a la pérdida de valor que experimenta el capital inmovilizado, excepto los terrenos, debido al uso, al envejecimiento, etc. Se expresa en términos de coste y representa un coste anual deducible a efectos de impuestos. En nuestro caso se ha calculado con la siguiente ecuación [Ec. D5.8]:

$$D = \frac{[\text{Total MEC}]^*}{n} + \left[\frac{\text{Costes instalación}}{n} + \frac{\text{Instrumentación y control}}{n} + \frac{\text{Tuberías}}{n} + \frac{\text{Instalaciones eléctricas + Accesos}}{n} \right]^{**} \quad [\text{Ec. D5.8}]$$

**de la tabla D5.3, costes fijos (equipos)*

*** de la tabla D5.4, costes fijos directos por instalación*

El valor que se ha obtenido es: $D = 81.853,34 \text{ €}$

La vida útil (n) de un proyecto se define como la previsión del tiempo durante el cual el proceso puede operar sin realizar grandes inversiones. La vida útil media se estima que en la industria química, oscila entre 10 y 20 años. En nuestro caso se ha seleccionado el siguiente valor:

$$n = 11 \text{ años}$$

Los impuestos sobre beneficios ya se han incluido en los cálculos realizados anteriormente (tabla D5.12).

El proyecto se financia con 250.000 € de fondos propios, además de un préstamo de 1.509.370 € suscrito con la entidad bancaria Cajamar, con un interés del 18%, para suplir los costes iniciales de la inversión.

El sistema de amortización empleado por Cajamar es el habitual en el sistema bancario español, el llamado sistema progresivo o francés:

$$A_n = C \cdot i \cdot \frac{(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} \quad [\text{Ec. D5.9}]$$

donde,

A_n = Cuota de amortización constante anual (€/año).

C = Importe total del préstamo solicitado (€).

i = Tipo de interés fijo de la operación (%).

n = número de pagos en los que se amortiza el préstamo. Se ha establecido en 11 años, para que coincida con la vida útil del proyecto.

Este sistema se caracteriza porque la amortización permanece constante durante toda la vida del préstamo. Así, al principio de la ejecución del proyecto la mayor parte de la cuota son intereses, siendo la cantidad destinada a amortización muy pequeña. Esta proporción va cambiando a medida que el tiempo va transcurriendo.

Gráficamente, el esquema de cobros y pagos de nuestra instalación particular, que origina para el prestatario el préstamo es el siguiente:

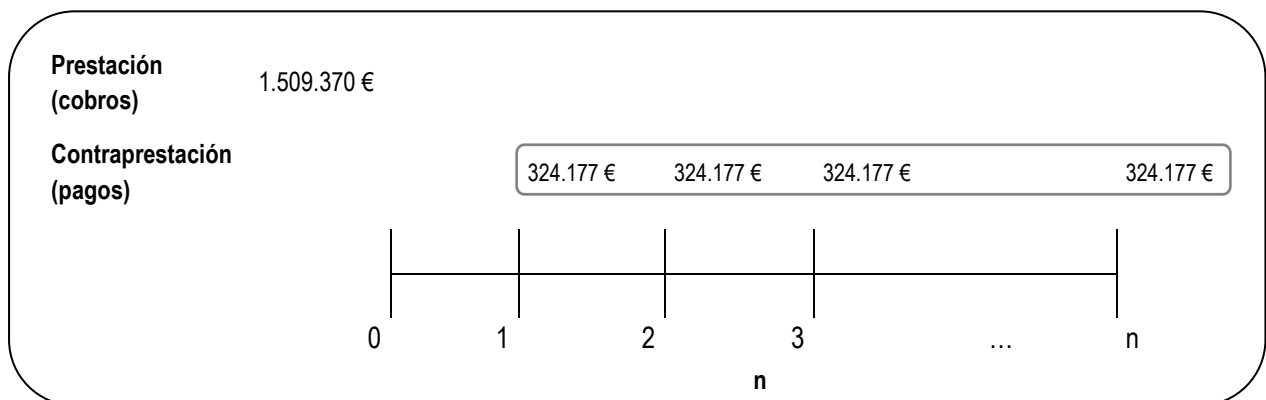


Figura D5.2: Esquema de cobros y pagos del préstamo para la instalación según el Sistema francés.

En resumen, los datos relacionados con el préstamo solicitado son los que siguen:

i	18%
C	1.509.370,16 €
n	11 años
A_n	324.177,07 €

Tabla D5.13: Cálculo de la cuota de amortización según el Sistema Francés.

Siendo la cuota de amortización mensual que debemos abonar al banco de 28.908,70 €.

5.2. UMBRAL DE RENTABILIDAD O PUNTO MUERTO

En términos económicos, el punto muerto, punto de equilibrio o umbral de rentabilidad, es el número mínimo de unidades que una empresa necesita vender para que el beneficio en ese momento sea cero. Es decir, cuando los costes totales se igualan a los ingresos totales por venta.

Simulando valores de producción, se calculan los ingresos totales, el coste total, y por diferencia los beneficios netos (tabla D5.14).

UMBRAL DE RENTABILIDAD (PUNTO MUERTO)			
Q	Ingreso total	Coste total	BN
(Uds./año)	(€)	(€)	(€)
0	0,00 €	2.188.127,85 €	-2.188.127,85 €
500.000	1.125.000,00 €	2.569.531,13 €	-1.444.531,13 €
750.000	1.687.500,00 €	2.760.232,78 €	-1.072.732,78 €
1.000.000	2.250.000,00 €	2.950.934,42 €	-700.934,42 €
1.250.000	2.812.500,00 €	3.141.636,06 €	-329.136,06 €
1.471.314	3.310.455,49 €	3.310.455,49 €	0,00 €
1.500.000	3.375.000,00 €	3.331.337,70 €	42.662,30 €
1.670.305	3.758.185,83 €	3.462.247,34 €	295.938,50 €
2.000.000	4.500.000,00 €	3.713.740,99 €	786.259,01 €
2.500.000	5.625.000,00 €	4.095.144,27 €	1.529.855,73 €

Tabla D5.14: Cálculo del punto muerto o umbral de rentabilidad.

Si observamos la tabla D5.14, se tiene el punto de equilibrio, cuando coinciden IT y CT, o sea los beneficios son igual a 0, con una producción de 1.471.314 botes de 500 mL de capacidad que contienen jabón líquido y por año (ver línea azul en la tabla D5.14). A partir de ese punto los beneficios netos son positivos y por tanto el proyecto es rentable.

La producción de la instalación diseñada se muestra en la tabla D5.14 en color verde.

El la figura D5.3 se muestra una gráfica donde se representa el punto de equilibrio a partir del cual la instalación objeto de nuestro estudio es rentable económicamente.

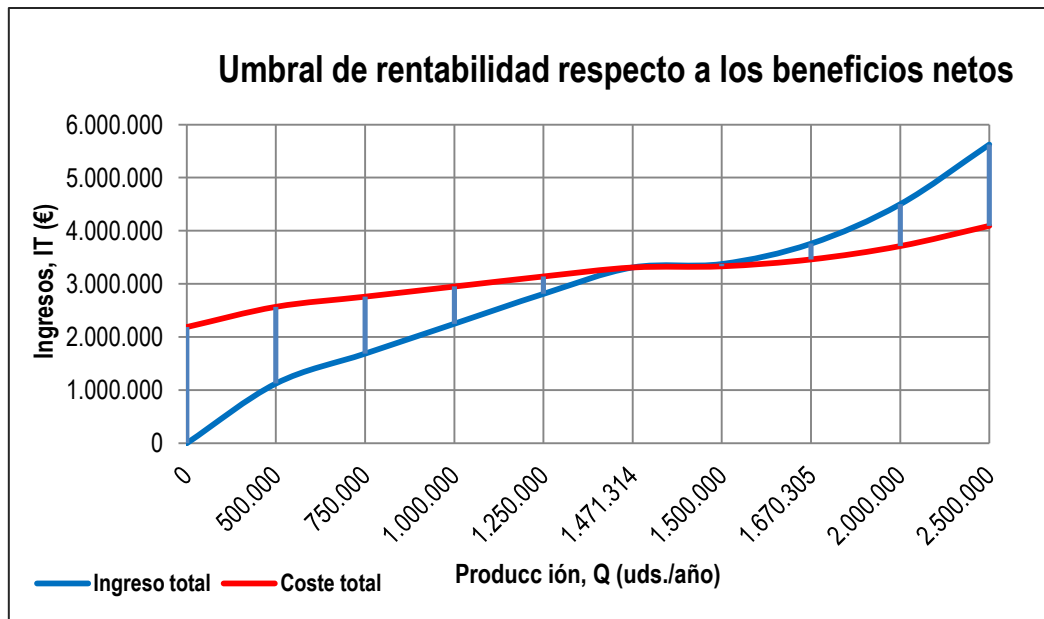


Figura D5.3: Representación gráfica del punto de equilibrio.

6. VIABILIDAD DEL PROYECTO. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

En el análisis económico se utilizan estimaciones de términos económicos poco predecibles que conllevan cierto grado de incertidumbre, lo que da lugar a un riesgo a la hora de tomar decisiones. El riesgo, si bien puede reducirse, es difícil de eliminar en su totalidad. Cuanto mayor es el riesgo, mayor ha de ser la rentabilidad mínima aceptable de un proyecto.

Para acreditar la rentabilidad o viabilidad económica del proyecto se utilizarán cuatro índices de valoración o criterios económicos que nos darán respuesta a si nos interesa o no la inversión. Estos índices se detallan a continuación ^[1, 2].

6.1. RENTABILIDAD NETA PORCENTUAL

Depende del procedimiento con que se evalúa la depreciación y no considera la influencia del tiempo en el valor del dinero.

$$BNP = \frac{BN}{P} \cdot 100 \quad [\text{Ec. D5.10}]$$

donde, BN son los beneficios netos y P es el coste total anual de producción.

6.2. PLAZO DE RECUPERACIÓN O PAY-BACK

Es el tiempo (en años) que tarda en recuperarse el desembolso o inversión inicial de un proyecto. Es el tiempo que transcurre desde el inicio del proyecto hasta que la suma de los cobros actualizados se hace exactamente igual a la suma de los pagos actualizados. Según este criterio, las inversiones preferentes son aquellas que tengan el plazo de recuperación más corto.

$$PB = \frac{K}{R_j} \quad [\text{Ec. D5.11}]$$

donde R_j es el flujo neto de caja (*cash-flow*) en el año j (beneficios netos en el año j), y K es la inversión inicial.

El valor del PB se ha calculado en la tabla D5.15.

6.3. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El valor capital de una inversión es el valor actual de todos los rendimientos esperados, es decir, la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y pagos previstos. El VAN se expresa en términos de unidades monetarias.

El VAN proporciona una medida de la rentabilidad esperada de una inversión, en valor absoluto y actual. Según sea el valor del VAN, la inversión será:

- Aceptada, si $VAN > 0 \rightarrow$ aumenta la riqueza de la empresa. El proyecto es viable.
- Rechazada, si $VAN < 0 \rightarrow$ disminuye la riqueza de la empresa
- Indiferente, si $VAN = 0 \rightarrow$ es lo mismo realizar o no realizar la inversión.

El inconveniente de este método reside en la determinación de la tasa de actualización (i), valor que habrá que fijar. Se ha realizado un análisis de rentabilidad con valores que oscilan entre el 2% y el 5%. La fórmula utilizada para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - K \quad [\text{Ec. D5.12}]$$

donde:

R_j = flujo neto de caja en el año j , beneficios netos en el año j (€)

i = tasa de actualización (interés)

K = inversión inicial (€)

n = periodo de análisis del proyecto (años)

El valor del VAN en el caso de nuestra instalación se ha calculado en la tabla D5.15.

6.4. TASA INTERNA DE RENDIMIENTO (TIR)

El TIR se define como el tipo de interés o tasa de actualización que haría que el VAN resultara nulo ($VAN = 0$), calculado para dicha tasa. La inversión será rentable cuando el valor del TIR sea superior al interés porque se incrementa la riqueza de la empresa.

$$K = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1 + \lambda)^j} \quad [\text{Ec. D5.13}]$$

donde, λ es la tasa interna de rendimiento. Un proyecto será viable si $\lambda > i$.

El valor del TIR, en nuestro caso, se ha calculado en la tabla D5.15.

6.5. TASA DE VALOR ACTUAL

Es el cociente que indica la ganancia neta generada por el proyecto por cada unidad monetaria invertida. Una inversión será recomendable si el $TVA > 0$.

$$TVA = \frac{VAN}{K} \quad [\text{Ec. D5.14}]$$

El valor del TVA, en nuestro caso particular, se ha calculado en la tabla D5.15.

6.6. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD O SENSIBILIDAD

En base a los conceptos definidos en los apartados del 6.1 al 6.5 del presente punto, se ha realizado el análisis de rentabilidad con los siguientes resultados (tabla D5.15).

Escenarios de tipos de interés de referencia							
r	2,00%	2,50%	3,00%	3,50%	4,00%	4,50%	5,00%
VAN	2.405.760,84 €	2.276.438,74 €	2.152.733,40 €	2.034.354,45 €	1.921.028,44 €	1.812.497,78 €	1.708.519,69 €
PB	4,70						
TVA	1,37	1,29	1,22	1,16	1,09	1,03	0,97
λ (TIR)	11,97%						

Tabla D5.15: Cálculo de parámetros económicos en distintos escenarios de tipo de interés.

**Leyenda:* r = tipo de interés porcentual de referencia para el cálculo del VAN ($i = r / 100$).
 VAN = valor actual neto (se ha calculado con la [Ec. D5.12])
 PB = Pay Back, en años (con la [Ec. D5.11]).
 TVA = Beneficio bruto por cada euro invertido (con la [Ec. D5.14])
 TIR = Tasa interna de rendimiento (con la [Ec. D5.13]). Se ha calculado en término porcentual (TIR / 100).

Se ha modelizado la prospectiva del proyecto empresarial de acuerdo con un ciclo económico o menor de tipo Juglar. Según Clément Juglar (1819-1905) ^[19, 20], las crisis económicas se sucedían en intervalos de entre 7 y 11 años, presentándose entre crisis sucesivas, las cuales forman parte de variaciones en la actividad económica.

En nuestro caso particular, la prospectiva del ciclo económico de Juglar en los 11 primeros años de vida del proyecto es el que se muestra en la figura D5.6:

Año	B ^{os} netos (€)
1	295.938,50 €
2	345.868,23 €
3	396.801,55 €
4	448.758,63 €
5	396.284,59 €
6	344.854,79 €
7	294.448,43 €
8	394.744,51 €
9	499.092,56 €
10	607.656,26 €
11	720.605,94 €

Tabla D5.16: Beneficios netos anuales esperados en un ciclo económico tipo Juglar.

[19] http://es.wikipedia.org/wiki/Clement_Juglar

[20] <http://www.elojodeltuerto.com/tag/ciclos-economicos/>

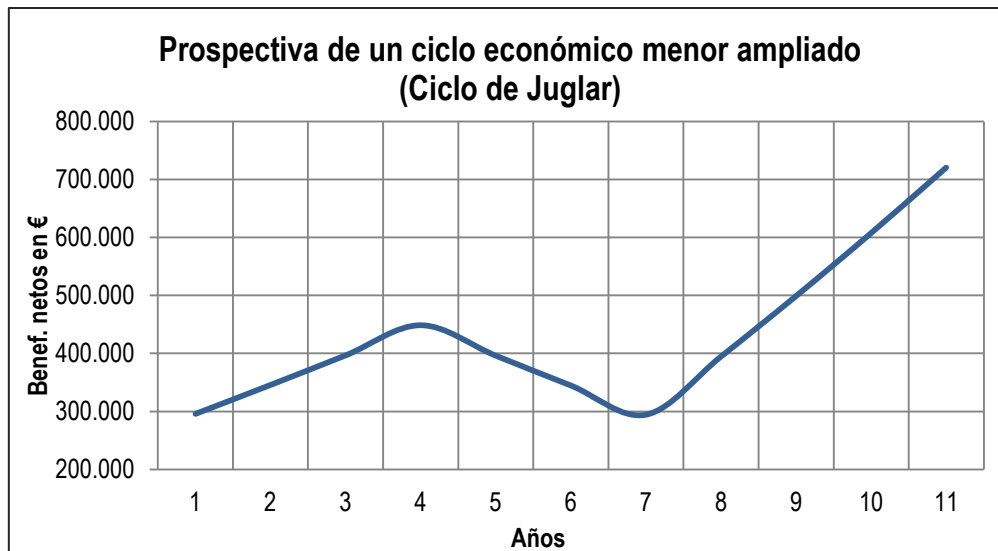


Figura D5.4: Ciclo de Juglar a 11 años para el proyecto.

Con la producción real prevista, 1.670.305 envases de 500 mL de jabón líquido al año, y con un precio del insumo principal (AVU) de 450 €/Tm, el valor actual neto (VAN) se mantiene siempre positivo, si bien para el tipo de interés de referencia del 5% se sitúa por debajo de la inversión inicial.

Con la producción estimada para el umbral de rentabilidad (1.471.314 envases) el VAN es adecuado hasta un precio del insumo principal (AVU) de 600 €/Tm. A partir de ahí, decrece rápidamente y se convierte en negativo a partir de 750 €/Tm.

La tasa interna de retorno (TIR) tiene un valor de casi 12%, mayor, en cualquier caso, al escenario más pesimista del tipo de interés de referencia (5%).

El plazo de recuperación (PB) de la inversión inicial se halla aproximadamente entre el 4º y el 5º año de vida útil estimada para la planta (4,7 años), lo que representa un plazo apropiado para evitar agobios financieros en el futuro inmediato.

La tasa de valor actual (TVA) indica que, para el peor de los casos, con un interés del 5%, se obtiene una ganancia de 0,97 € por cada euro invertido.

En las siguientes tablas y figuras se ha analizado la rentabilidad en función del precio de costo del aceite vegetal usado (AVU), (tabla D5.17 y figura D5.5), considerando distintos precios de coste del jabón, y a un interés del 5%.

Precio AVU (€/kg)	Precio coste jabón (€)	Coste total anual en el PM (€)	BN (€)	VAN (al 5%) (€)	Pay Back	TVA (€)
0,00	0,60	2.984.689,65	567.063,50	4.070.800,82	3,1	2,31
0,10	0,64	3.051.417,46	506.813,50	3.545.849,46	3,5	2,02
0,20	0,67	3.177.775,16	446.563,50	3.020.898,09	3,9	1,72
0,30	0,71	3.230.847,29	386.313,50	2.495.946,73	4,6	1,42
0,40	0,74	3.283.919,43	326.073,55	1.970.995,37	7,2	1,12
0,45	0,76	3.310.455,49	295.938,50	1.708.519,69	5,9	0,97
0,50	0,78	3.336.991,56	265.813,54	1.446.044,00	6,6	0,82
0,60	0,82	3.390.063,69	205.563,50	921.092,64	8,6	0,52
0,70	0,85	3.443.135,83	145.313,56	396.141,28	12,1	0,23
0,80	0,89	3.496.207,96	85.063,50	-128.810,08	20,7	-0,07
0,90	0,93	3.500.820,68	24.813,50	-653.761,45	70,9	-0,37
1,00	0,96	3.600.350,90	-35.436,50	-1.178.712,81		-0,67

Tabla 17. Escenarios de rentabilidad en el 1er año de actividad en función del precio de coste de los AVUs.

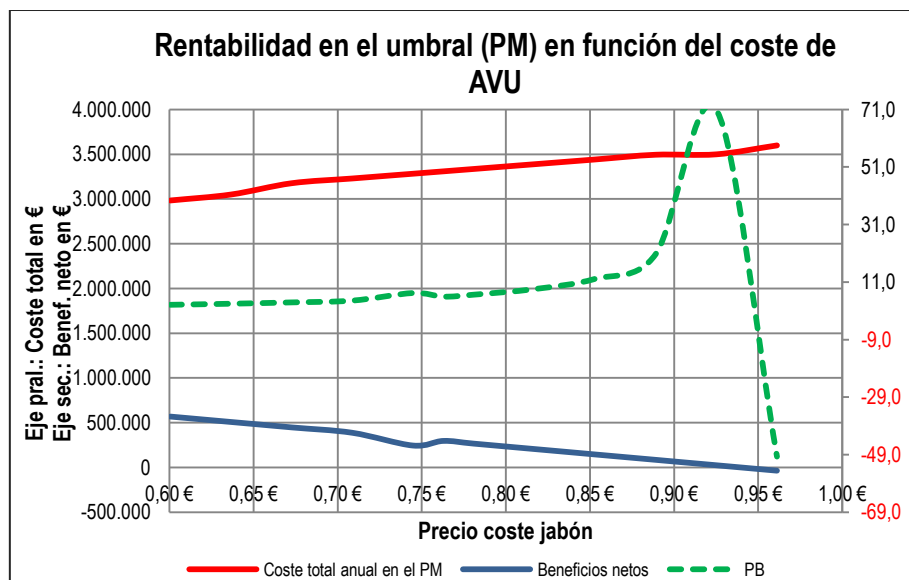


Figura D5.5: Escenarios de rentabilidad en función del precio de coste del jabón líquido.

Se obtiene que, a precios de compra de AVU superiores 1 €/kg (1.000 €/Tm), el proyecto ya no es viable económicamente.

De la misma forma se ha hecho para el precio de venta del envase o bote (tabla D5.18 y figura D5.6), considerando el precio coste del jabón de 0,76 €/kg. Se obtiene que a precios de venta inferiores a 2,07 €/envase, el proyecto ya no es viable.

Precio coste jabón (€)	Precio Venta (€)	BN (€)	BL (€)	VAN (al 5%) (€)	Pay Back	TVA (€)
0,76	1,50	-956.790,11	-956.790,11	-9.206.361,50		
	1,75	-539.213,91	-539.213,91	-5.568.067,77		
	2,00	-121.637,71	-121.637,71	-1.929.774,04		
	2,07	0,00	0,00	-911.051,80		
	2,10	45.392,78	34.044,58	-474.456,55		-0,27
	2,15	128.908,02	96.681,01	253.202,19	38,8	0,14
	2,20	212.423,26	159.317,44	980.860,94	13,6	0,56
	2,25	295.938,50	221.953,87	1.708.519,69	5,9	0,97
	2,30	379.453,74	284.590,30	2.436.178,43	4,6	1,38
	2,40	546.484,22	409.863,17	3.891.495,92	3,2	2,21
	2,50	713.514,70	535.136,03	5.346.813,41	2,5	3,04
	2,75	1.131.090,91	848.318,18	8.985.107,14	1,6	5,11

Tabla D5.18: Escenarios de rentabilidad en el año 1º de actividad en función del precio de venta del jabón.

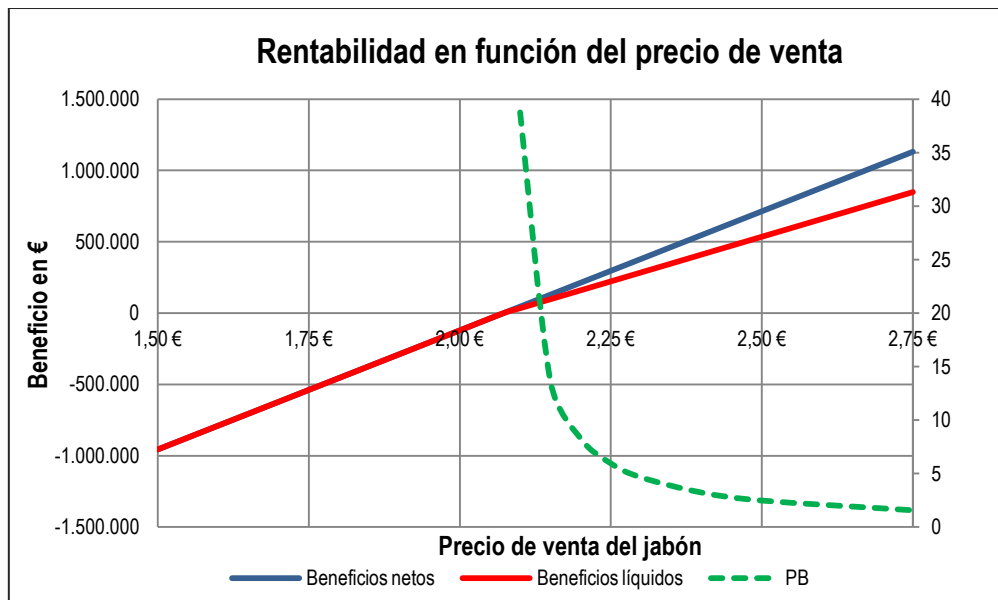


Figura D5.6: Escenario de rentabilidad en función del precio de venta del jabón líquido.

El producto se distribuirá en los distintos supermercados de la zona, tanto en pequeños comercios como en grandes superficies.

6.7. CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos en los apartados anteriores, concluimos que el proyecto objeto de estudio de esta memoria, es económicamente viable y, por tanto, es rentable, ya que nos proporcionará beneficios a partir del primer año.

Por otra parte, la previsible próxima recuperación económica de nuestro país parece corroborar que nos encontramos al inicio de una fase expansiva del ciclo de Juglar, con incremento de la demanda interna y con posibilidades de negocio en alza.