

Proyecto Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

Estudio Tecno-Económico de una planta de producción de detergente en polvo

Autor: Luis Jaraquemada Llorente

Tutor: D. Diego Fuentes Cano

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Estudio Tecno-Económico de una planta de producción de detergente en polvo

Autor:

Luis Jaraquemada Llorente

Tutor:

Diego Fuentes Cano

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Estudio Tecno-Económico de una planta de producción de detergente en polvo

Autor: Luis Jaraquemada Llorente

Tutor: Diego Fuentes Cano

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Resumen

Este trabajo tiene por objeto la realización de un análisis de viabilidad, tanto técnica, como económica, de una planta de producción de 15 toneladas por hora de detergente en polvo para textiles, enfocando la producción tanto en detergentes para ropa blanca como de color.

Para ello se utilizarán las materias primas habituales en estos detergentes, teniendo en cuenta tanto el precio como la normativa vigente, evitando productos tóxicos o que perjudiquen al medioambiente. Se buscará un producto con unas características deterativas adecuadas, de forma que pueda competir en un mercado con gran competencia.

Para la producción se utilizará el método del secado por atomización, que produce un producto con una solubilidad y una densidad muy competitivas en el mercado. En este proceso de producción, en primer lugar se necesita conseguir una pasta con los principales componentes, para que se mezclen íntimamente antes de ser introducida en un secador por aspersión. Por último se tamiza y se le añaden los últimos aditivos cuya solubilidad o degradación ante la temperatura hacen que no sea conveniente añadirlos previamente.

Por último se ha realizado un estudio de viabilidad económica utilizando para ello tres parámetros cuyo valor es muy indicativo de la rentabilidad de una inversión. Estos parámetros son el valor actual neto, VAN, que es el beneficio actualizado obtenido por la inversión; la tasa interna de rentabilidad, valor del rendimiento de una inversión y el payback o plazo de recuperación del capital, tiempo en el que se recupera el dinero invertido.

Abstract

The purpose of this project is to carry out a feasibility analysis, both technical and economical, of a production plant of 15 tons per hour of powder detergent for textiles, focusing on the production on both detergents for white and coloured clothes.

For this, the common raw materials in these detergents will be used, taking into account both the price and the current regulations, avoiding toxic products or those which harm the environment. A product with suitable detergents characteristics will be sought, so that it can compete in a very competitive market.

For production, the spray drying method will be employed, which produces a very competitive product with good density and solubility, all characteristics desired for a product in this market. In this production process its necessary, at first, to obtain a slurry with the main components, that should be intimately mixed before being introduced into a spray dryer. Finally, it will be sifted and the last additives added as the solubility and degradation with temperature makes it inconvenient to add them previously.

Finally, an economic feasibility study has been carried out using three parameters which are good indicators of the profitability of an investment. These parameters are the net present value, NPV, from which the updated profit is obtained for the investment; the internal rates of return, IRR, which is the value of the return on an investment and the payback, the time in which the invested is recovered.

Resumen	ix
Abstract	x
Índice	xi
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras	xv
Notación	xvii
1 Introducción	2
1.1 <i>Detergentes y tensoactivos</i>	2
1.1.1 Definición	2
1.1.2 Tipos y usos del tensoactivo	2
1.1.3 Tipos y usos de detergentes	6
1.1.4 Detergente en polvo para textiles	7
1.2 <i>Estudio de Mercado</i>	10
1.3 <i>Fabricación de detergentes en polvo para textiles</i>	13
1.3.1 Materias primas	14
1.3.2 Revisión de procesos de producción de detergentes en polvo para textiles	16
2 Análisis técnico	19
2.1 <i>Análisis del producto final y bases de partida</i>	19
2.1.1 Análisis del producto final	19
2.1.2 Bases de partida	21
2.2 <i>Proceso de producción</i>	21
2.3 <i>Dimensionado de las unidades de proceso</i>	27
2.3.1 Tanques	27
2.3.2 Silos	27
2.3.3 Otros almacenamientos	28
2.3.4 Mezclador	28
2.3.5 Tanques de maduración	28
2.3.6 Torre de atomización	28
2.3.7 Tamiz	29
2.3.8 Horno	29
2.3.9 Bombas y ventiladores	30
2.3.10 Transportadores de tornillo	30
2.4 <i>Presupuesto</i>	30
3 Análisis económico	33
4 Conclusiones	35
5 Anexos	36
5.1 <i>Plano de implantación.</i>	36
5.2 <i>Diagrama de proceso en instrumentación</i>	39
Referencias	11

Índice de Conceptos

Glosario

¡Error! Marcador no definido.

¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Leyenda de la ilustración 6	12
Tabla 2. Formulaciones típicas de detergentes	20
Tabla 3. Propuesta de formulación de detergente	21
Tabla 4. Balance de materia de la planta	25
Tabla 5. Precio de los equipos	31
Tabla 6. Coste de la planta por el método de Chilton	32
Tabla 7. Precio materias primas	33
Tabla 8. Resumen de flujos de caja	34
Tabla 9. Leyenda de la Ilustración 9	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: reacción de saponificación.	3
Ilustración 2. Esquema general de una molécula de tensoactivo.	3
Ilustración 3. Izquierda, micela; derecha, ordenación en superficie.	4
Ilustración 4: diagrama de bloques para la obtención del LAB.	5
Ilustración 5. Evolución del valor generado por productos de limpieza e higiene en el mercado español.	10
Ilustración 6. Distribución de volúmenes de producción en el mercado español.	11
Ilustración 7. Evolución en el mercado español de la producción de preparaciones tensoactivas.	13
Ilustración 8. Diagrama de flujo de proceso.	23
Ilustración 9. Plano general de la planta. Medidas en metros.	36
Ilustración 10. Plano interior del edificio de procesos.	37
Ilustración 11. Diagrama de proceso e instrumentación.	39

Notación

a.p.v.m.	Apta para la venta al por mayor
n.a.p.v.m.	No apta para la venta al por mayor
LABSA	Ácido sulfónico de alquilbenceno lineal
LAS	Sulfonato de alquilbenceno lineal
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
TAED	Tetraacetilendiamina
CMC	Carboximetilcelulosa
BAI	Beneficio antes de impuestos
VAN	Valor actual neto
TIR	Tasa interna de rentabilidad

1 INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad la humanidad ha tenido la necesidad de lavar tejidos. No se conoce de cuando datan los primeros jabones, fabricados, según parece, por la mezcla de grasas animales con cenizas. Pero se sabe que fueron los romanos quienes ayudaron en gran medida a su difusión. En las zonas que daban al mediterráneo, debido a la abundancia de aceite de oliva, la industria del jabón prosperó. Pero con la llegada de la peste negra, la creencia de que era propagada por el agua, hizo que el baño se considerara algo peligroso, y la fabricación se vio afectada.

A partir del siglo XVIII se desarrollaron técnicas para la obtención de un jabón más puro. Esto, junto con un cambio de mentalidad respecto a la higiene, hizo que la industria del jabón avanzara. En el siglo XIX el desarrollo de la energía para operar en las fábricas, hizo potente esta industria pasando el jabón, de ser un artículo de lujo a una necesidad diaria. Ya en el siglo XX aparecieron los primeros detergentes que tomaron gran relevancia tras la segunda guerra mundial, debido a la escasez de grasas animales y vegetales y a que otros ingredientes químicos eran más económicos y fácilmente manipulables. En la segunda mitad de este siglo nacieron otros compuestos para el lavado, entre los que se encuentra el jabón en polvo, sobre lo que tratará este trabajo. [1]

Actualmente el negocio de los detergentes factura en torno a 3000 millones de euros al año en España. Las 10 primeras empresas de este sector acumulan el 78% del negocio, destacando entre ellas Henkel Iberia, con una facturación cercana a los 500 millones de euros, o Persan, cuya facturación supera los 300 millones de euros. [2]

1.1 Detergentes y tensoactivos

1.1.1 Definición

Según la real academia de la lengua española un detergente es una “sustancia o producto que limpia químicamente”, para realizar este proceso de limpieza, lo que necesita es reducir la tensión superficial del agua y así facilitar la penetración a través de los poros del tejido. Esta es la función de los tensoactivos, que se definen como “compuesto que reduce la tensión superficial del Líquido al que se añade”.

La composición de los detergentes no suele variar en gran medida. El componente principal de cualquier detergente son los tensoactivos, a los que se le añaden diversos componentes para mejorar sus propiedades como son los coadyuvantes, potenciadores, una serie de enzimas, blanqueadores, perfumes y alguna sustancia de relleno. [3]

1.1.2 Tipos y usos del tensoactivo

Los tensoactivos son agentes que al disolverse en ciertos líquidos, como el agua se orientan de forma que modifican las propiedades de la interfase entre el líquido y otra fase líquida, sólida o gaseosa. El ejemplo clásico de un tensoactivo es el del jabón, obtenido a partir de una reacción entre un cuerpo graso, animal o vegetal y un álcali, principalmente sosa o potasa, en función de este álcali se darán unas propiedades u otras en el jabón. En esta reacción, denominada saponificación (“sapo”; jabón en latín tardío), los ácidos grasos y el álcali generan jabón y glicerina como se puede apreciar en la Ilustración 1

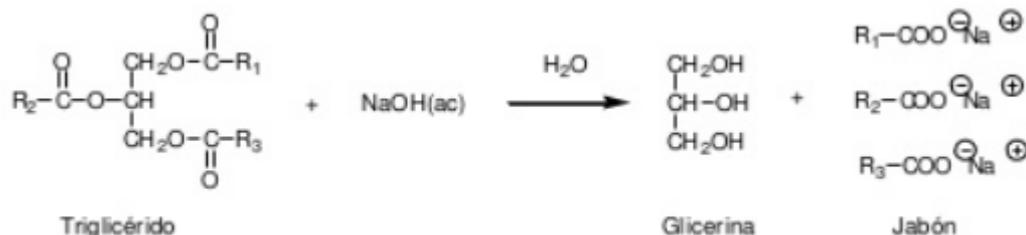


Ilustración 1: reacción de saponificación. Fuente [4]

La estructura molecular de los tensoactivos es lo que le confiere la capacidad de disminuir la tensión superficial del agua, propiedad fundamental para la eliminación de la suciedad de las prendas de ropa.

Los agentes tensoactivos constan de una cabeza hidrofílica y una “cola” consistente en una larga cadena de hidrocarburos solubles en grasas, pero insolubles en agua como se observa en la ilustración 2. La cabeza hidrofílica es suficientemente afin al agua como para conferir solubilidad al compuesto

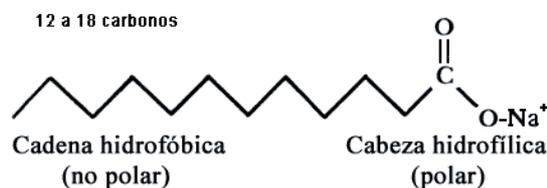


Ilustración 2. Esquema general de una molécula de tensoactivo.

La molécula de agua es altamente polar, esto hace que se formen puentes de hidrógeno, interacciones intermoleculares muy fuertes que le confieren sus características fundamentales (altos calores latentes y temperaturas de fusión y ebullición elevadas, etc.). La situación de las moléculas de agua líquida se caracteriza entre otras cosas por la constante ruptura y formación de enlaces, aunque su unión se produce con gran tenacidad. La disolución de una sal da lugar a la rotura de parte de estos enlaces debido a la interposición de los iones entre las moléculas de agua, aglomerándose estas a su alrededor orientadas según su polaridad. Un compromiso entre la energía de la rotura de las fuerzas de enlace y la de las fuerzas de solvatación le conferirá a la sustancia su límite de solubilidad.

Lo explicado anteriormente es lo que le ocurre a la cabeza polar de la molécula de tensoactivo, mientras que la cola dificultara en mayor o menor medida, según su longitud, la solubilidad completa del tensoactivo. En caso de una longitud excesiva de la cadena el compuesto solo será soluble parcialmente, esto provocara que la molécula se oriente de forma característica. Los grupos hidrofílicos quedarán disueltos en el agua, mientras que las colas hidrofóbicas se ordenaran a lo largo de la superficie disminuyendo la tensión superficial del medio acuoso. También suele ocurrir que cuando la superficie se satura las moléculas de tensoactivo sobrantes se organicen en forma de micelas, es decir, en grupos orientados de forma que las colas del conjunto de moléculas queden en el interior y las cabezas disueltas en el exterior.

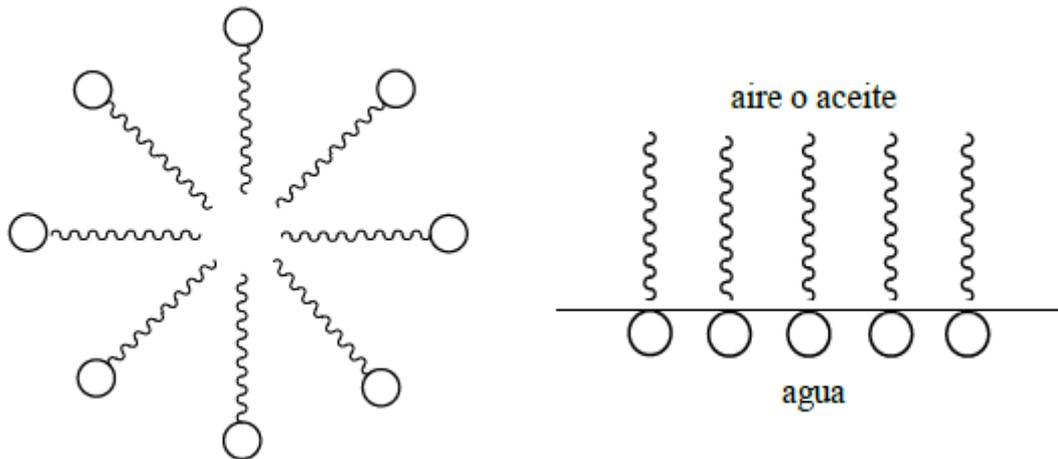


Ilustración 3. Izquierda, micela; derecha, ordenación en superficie. Fuente [5]

Estas micelas pueden encerrar en el interior de las colas hidrófobas una molécula de grasa siendo capaces de solubilizarla y por lo tanto de eliminarla. Este mecanismo es al fin y al cabo el que proporciona al tensoactivo su capacidad de detergencia.

El jabón no es el único tensoactivo conocido, de hecho estos se pueden clasificar en cuatro tipos: catiónicos, aniónicos, no iónicos y anfóteros. [6]

1.1.2.1 Tensoactivos catiónicos

Que un tensoactivo sea catiónico, significa que el catión tiene la cadena alquílica hidrofóbica. Estos tensoactivos son muy poco utilizados en la industria del detergente, debido a que gran parte de las superficies tienen carga negativa. [6]

Los catiónicos son los tensoactivos con menor peso en el mercado, con un volumen anual estimado de 500000 toneladas, los más utilizados están compuestos por ácidos grasos nitrogenados, suelen estar compuesto de un átomo de nitrógeno cargado positivamente como cabeza hidrófila [7]

Estos tensoactivos se adsorben en las superficies debido a su carga positiva. Debido a esto tiene numerosas aplicaciones, sirven como bactericidas, debido a que las moléculas se interponen en la membrana bacteriana impidiendo así la respiración del organismo. También se utilizan en la limpieza de metales con ácido clorhídrico, se interponen las aminas en la interfase entre el metal y la solución acida impidiendo así que se dañe el metal pero eliminando el óxido. Ciertos procesos de flotación también las utilizan, orientándose de forma que alguno de los compuestos se unan a partículas de aire. [6]

También son utilizados para acondicionadores de pelo, dependiendo del acondicionamiento necesario se utilizan unos u otros. Otro uso que se le da es el de espesante ya que la naturaleza viscoelástica de algunos de estos tensoactivos ayuda a formar flóculos y espesar así las soluciones. [7]

Pero sin duda su principal uso es el de suavizantes para tejidos, ya sean para lavadora, secadora, o incluso mezclado en el propio detergente, poco común debido a la naturaleza aniónica de este. Los suavizantes para lavadora consumen anualmente 200000 toneladas de tensoactivos catiónicos. Añadidos durante el enjuague final los cationes se adsorben en la interfase entre el agua y el tejido, lubricando así una vez seco y dándole una suavidad conveniente. La superficie ligeramente hidrofóbica permite que las fibras se sequen sin encoger las prendas.

Algunos ejemplos de estos tensoactivos son las alquilaminas, utilizadas para el suavizado de textiles, compuestos amoniacales alquilados y esteres cuaternarios.

1.1.2.2 Tensoactivos aniónicos

A diferencia de los tensoactivos catiónicos, en estos la cadena alquílica hidrofóbica la tiene el anión. El

principal ejemplo de tensoactivo aniónico es el jabón, desplazado por detergentes de origen petroquímico en los países desarrollados en la industria del lavado de tejidos.

En la industria de los detergentes, el tensoactivo utilizado principalmente es el sulfonato de alquilbenceno lineal, conocido como LAS por sus siglas en inglés. Es obtenido a partir de benceno, que por un proceso de alquilación pasa a dodecilbenceno lineal y este a su vez mediante sulfonación, da lugar al LAS.

El LAS es un compuesto con aspecto de pasta blanca cuando se le agrega suficiente cantidad de agua. Tiene un peso molecular de 342,4 g/mol, su punto de fusión es de 277°C. Su solubilidad en agua es de 250 g/l y su densidad relativa de 1,06. Estas propiedades varían en función de la longitud de la cadena, la media de longitud de esta es de entre 11 y 12 átomos de carbono, y es para esa longitud para las que se dan estas propiedades. [8]

Para la obtención de este compuesto el primer paso es la obtención del Alquilbenceno Lineal (LAB), para ello se parte del queroseno obtenido de la torre de destilación de la refinería, este queroseno es destilado de nuevo para la obtención de las cadenas de 11 a 14 átomos de carbono. Tras esto se procede a la eliminación de contaminantes, principalmente azufre y nitrógeno. La finalidad principal de la descontaminación es la protección del catalizador del siguiente proceso, el proceso MOLEX, cuya función es la separación de las parafinas lineales de las ramificadas. [9]

Es esta separación de las parafinas no lineales la que aumenta la biodegradabilidad de este compuesto y ello hace que se imponga frente a sus competidores, ya que cada día la sociedad está más implicada en la protección del medio ambiente.

Posteriormente se procede a la deshidrogenación mediante el proceso PACOL, mediante el cual son convertidas a mono olefinas, que posteriormente podrán alquilar el benceno. El proceso de alquilación tiene lugar en presencia de ácido fluorhídrico, que actúa como catalizador para obtener LAB. El proceso completo se puede observar en la ilustración 4.

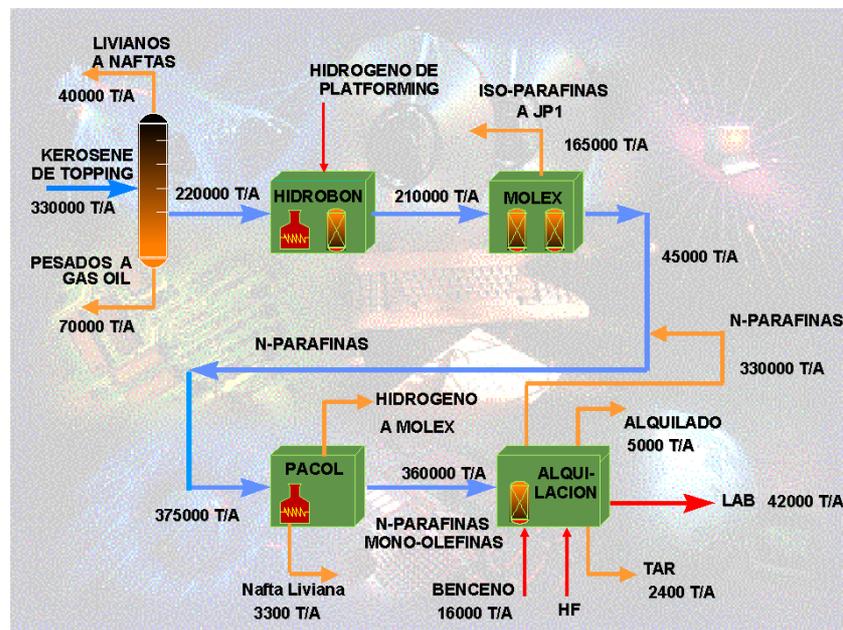


Ilustración 4: diagrama de bloques para la obtención del LAB [9]

Una vez se ha obtenido el LAB se procede a su sulfonación, lo que da lugar a Ácido Sulfónico de Alquilbenceno Lineal, LABSA, que ya es soluble en agua, este ácido es neutralizado, normalmente con NaOH, obteniéndose Na-LAS y agua.

Otros tensoactivos aniónicos muy utilizados son los alquil éter sulfatos, son estables en condiciones alcalinas, sin embargo, son muy reactivos en condiciones ácidas y neutras. Tienen una solubilidad en agua muy elevada y les afecta en menor medida la dureza del agua.

Sus propiedades, utilizados con otros tensoactivos, son muy interesantes. Incrementan la capacidad espumante y para dispersar grasas. El más utilizado es el alquil éter sulfato de sodio, y se puede encontrar tanto en detergentes para lavavajillas como en diversos limpiadores específicos, y también en detergentes para textiles,

tanto líquidos como en polvo, y en productos de higiene personal, especialmente en champús.

1.1.2.3 Tensoactivos no iónicos o anfóteros

En los tensoactivos no iónicos la parte hidrófila no es un ion, la capacidad de formar ciertos puentes de hidrógeno es lo que le confiere solubilidad. Son utilizados como agentes humectantes, debido a su bajo punto de fusión no se pueden obtener en forma de polvo. Este tipo de tensoactivo tienen mejores características de detergencia que el LAS para cierto tipo de manchas, principalmente para el lavado en frío.

En este grupo se pueden destacar por ejemplo los alcoholes, no suelen ser considerados tensoactivos, debido a su baja solubilidad, pero se utilizan como cosurfactantes y coemulsionantes y son precursores de otros tensoactivos. Los alcoholes se utilizan en productos de venta directa en algunos limpiadores específicos, como el limpiacristales.

También entran en esta categoría los éteres donde destacan los alcoholes alcoxilados, utilizados en productos de higiene personal como emulsificante, los alquil poliglucósidos, utilizados en detergentes y champús, y las grasas etoxiladas, utilizadas en la industria cosmética.

Otro grupo de tensoactivos no iónicos son las alcanamidas, cuya baja demanda se restringe a detergentes domésticos; y algunos tipos de ésteres como los ácidos grasos etoxilados, ésteres de glicol y derivados etoxilados, con usos diversos como la taladrina o aceite de corte, pinturas, industrias cosmética y farmacéutica, lubricación y diversos usos más [10]

Otro tipo de tensoactivos son los anfóteros, que tienen una carga positiva y otra negativa en la misma molécula, la carga debería cambiar en función del pH al que se encuentre. Algunos ejemplos de estos tensoactivos son las Acil etilendiamidas, son sustancias suaves con la piel pero con una reducida capacidad emulsionante, también tienen buen comportamiento en aguas duras. Su uso industrial se da principalmente en productos de higiene personal, incorporado en champús para bebés, debido a su baja irritabilidad al contacto con los ojos. También, aunque en menor medida en detergentes para tejidos y limpiadores industriales y de coches.

Otro ejemplo de tensoactivo anfótero son los N-álquil aminoácidos al igual que los anteriores tienen buen comportamiento en aguas duras. Además de una gran compatibilidad con otros tensoactivos tiene una gran estabilidad en presencia de agentes oxidantes, ácidos, álcalis y frente a la hidrólisis. Son buenos emulsionantes, a pH alcalino se optimiza su capacidad de detergencia, pero sin embargo esta se reduce en condiciones ácidas. Al igual que los anteriores su uso principal es en productos de higiene personal, pero más enfocado a acondicionadores de pelo. También son utilizados como agente espumante anti incendios. [10]

1.1.3 Tipos y usos de detergentes

Los detergentes son productos cuya finalidad principal es eliminación de suciedad. Su formulación puede variar según su aplicación, pero uno de sus componentes principales son los tensoactivos, que pueden encontrarse diferentes de estos, normalmente aniónicos y no iónicos, y en concentraciones diversas. Además de tensoactivos deben llevar otras sustancias para su complementación, como son coadyuvantes, blanqueadores, perfumes y enzimas.

En este apartado se tratará de dar una clasificación de los detergentes, se clasificaran basándose en el uso que se les da. Se hará una división general en los principales usos de estos; lavado de textiles, lavado de vajillas, lavado corporal y lavado de superficies.

1.1.3.1 Detergentes para el lavado de vajillas

Este tipo de detergentes se puede encontrar en forma líquida o en pastillas. En pastillas es utilizado para el lavado a máquina. Suelen ser versiones de baja espuma. En ocasiones se añaden componentes poliméricos para aclarar y secar los platos evitando manchas en los utensilios.

Suelen utilizarse productos en polvo conteniendo potenciadores algún tensoactivo no iónico, agentes blanqueadores y encimas. Se le añaden componentes alcalinos, lo que consigue desvirtuar grasas y proteínas.

En forma líquida ofrecen formulas antibacterianas, aromáticas y protectoras de la piel. Consiste en una mezcla altamente espumosa que contiene entre un 13-40% de tensoactivos, predominando el alquil éter sulfato,

también no iónicos o anfóteros.

1.1.3.2 Detergentes para el lavado de superficies duras

En el caso del lavado de superficies se pueden encontrar gran cantidad de productos dependiendo del uso recomendado. Por ello en el mercado hay productos para la limpieza de suelos, cristales, muebles, madera o productos desinfectantes.

Los detergentes para limpieza de suelos están compuestos principalmente por una mezcla tensoactivos aniónicos y no iónicos, los primeros son altamente espumantes y los segundos refuerzan las características de los primeros.

Además de esto a estos detergentes se le suelen añadir productos en función de su uso. Es común encontrar detergentes con lejía, disolución de hipoclorito de sodio, otros con ceras que protegen las superficies de madera o los productos para limpieza de cristales, que suelen tener alcoholes en su composición para abrillantar y desinfectar.

1.1.3.3 Detergentes para el lavado corporal

Estos detergentes, denominados popularmente jabones aun siendo otros los tensoactivos presentes, están constituidos por tensoactivos que no dañen la piel como por ejemplo el Lauril éter sulfato sódico, SLES; el glucósido de coco; y la betaína de coco; de procedencia más natural que la de los detergentes para el lavado de ropa.

Para mejorar las propiedades de estos detergentes se le añaden otro tipo de sustancias como la glicerina, diferentes sales y ácidos cítrico y láctico. También se añaden sustancias desinfectantes y bactericidas.

Además de esto deben tener un aroma agradable por lo que se le añaden diferentes perfumes en función del aroma deseado y, para que sea atrayente al público, se le añaden ciertos colorantes inocuos.

1.1.3.4 Detergentes para el lavado de textiles

En el mercado se pueden encontrar presentados de diferentes formas, en forma líquida en pastillas o en polvo principalmente. La principal característica de estos detergentes es la presencia de suavizantes y perfumes.

En cuanto al proceso de producción el principal problema es conseguir un producto de una homogeneidad elevada. La composición entre las diferentes presentaciones no varía en exceso, excepto en el contenido de agua. El detergente líquido se somete a un proceso de secado y se obtiene en polvo, el detergente en polvo se aglomera o encapsula para conseguir pastillas de detergente.

1.1.4 Detergente en polvo para textiles

Como se ha dicho anteriormente el componente principal de los detergentes son los tensoactivos, a los que se le añaden otras sustancias que mejoran sus propiedades. En este apartado se darán unas ideas generales sobre la composición de los detergentes, así como ciertos aspectos importantes sobre la normativa.

1.1.4.1 Composición de los detergentes para textiles

El componente principal de los detergentes para textiles, como el de cualquier otro detergente, son los tensoactivos. Sin embargo estos necesitan otros compuestos para optimizar su función. En este apartado se darán ciertas pautas sobre las funciones de cada compuesto que se añade al detergente así como las posibles sustancias que suele llevar un detergente.

1.1.4.1.1 Tensoactivos

Los tensoactivos son la sustancia que conforma los detergentes, junto a ciertos aditivos. Sus propiedades y clasificación se ha explicado anteriormente por lo que en este punto se aclarará cuales se utilizan en los detergentes para textiles y debido a qué.

Los detergentes para textiles suelen llevar tensoactivos aniónicos, debido a que la suciedad a retirar suele tener carga negativa y estos la retiran mejor. También se le añaden tensoactivos no iónicos que mejoran las propiedades de estos. [10]

Uno de los tensoactivos aniónicos más utilizados es el LAS, debido a su precio y a su capacidad para eliminar grasas. Sin embargo este tensoactivo, cuando es utilizado en solitario no actúa de forma óptima debido a su sensibilidad a la dureza del agua y a su baja actividad superficial. Esto hace que se le añadan cosurfactantes para aminorar estos defectos. En función de los cuales sus propiedades varían bastante, los más comunes son los AES, que ayudan a aumentar la tolerancia a la dureza del agua y tienen alto efecto espumante. [10]

También se utilizan como cosurfactantes los tensoactivos no iónicos, debido a su baja sensibilidad a la dureza del agua, además son relativamente respetuosos con los tintes y las telas delicadas, además de su capacidad para mejorar las características del LAS. Los tensoactivos no iónicos más utilizados son los alcoholes etoxilados, debido a su compatibilidad con otros tensoactivos, además de su alto rendimiento en las condiciones de lavado habituales y su capacidad para eliminar la suciedad en varios sustratos. Aunque hay otros de estos tensoactivos, como los óxidos de aminas y las alcanoamidas, su alto coste y su menor efectividad los han desplazado del mercado.

1.1.4.1.2 Coadyuvantes

Los coadyuvantes son sustancias cuya función es la de retirar los iones de calcio y magnesio del agua, de forma que aumente la efectividad de los tensoactivos ya que estos iones tienden a reaccionar con los tensoactivos aniónicos formando compuestos que pueden precipitar.

Dependiendo del coadyuvante utilizado se añadirá otra característica al detergente, por ejemplo, alcalinizar el medio o dispersar las grasas. Sin embargo no hay gran número de estos.

Tradicionalmente el más utilizado era el tripolifosfato de sodio (STTP), ya que reacciona rápidamente con los iones, además es un gran agente de peptización. Su precio es reducido y no tiene problemas para ser formulado en estado sólido. Sin embargo debido a su alta cantidad de fósforo produce la eutrofización de las aguas, por lo que su uso está siendo cada vez más restringido.

Actualmente el principal reemplazo para el STTP son las zeolitas, ya que son fáciles de obtener y tienen un coste relativamente bajo. Estos compuestos, sin embargo, tienen una baja efectividad en la captura de iones de magnesio y su cinética en la captura de calcio no es excesivamente alta, lo que hace que disminuya su efectividad en ciclos cortos.

Además de estos, nos encontramos coadyuvante basados en ácidos carboxílicos, silicatos en capas o carbonato cálcico. Los basados en ácidos carboxílicos se utilizan sobre todo en detergentes líquidos, destaca, por ejemplo, el jabón, pero también se puede encontrar ácido cítrico o ácido nitrilotriacético, este es un gran coadyuvante pero presenta problemas debido a su toxicidad.

1.1.4.1.3 Polímeros

El uso de polímeros se ha ido introduciendo para mejorar ciertas características de los detergentes. Los primeros se empezaron a añadir debido a la necesaria reducción de la cantidad de fosfatos. También la carboximetilcelulosa fue uno de los primeros polímeros en ser añadido como inhibidor de la redeposición de grasas en tejidos. Algunos dispersantes modernos están basados en polímeros, también se utilizan para evitar la pérdida de color.

Los principales usos de los polímeros son la dispersión y la eliminación de la suciedad, en función del tipo de esta variará la utilización de estos polímeros. Algunos de los polímeros más utilizados son los ácidos poliácrilicos, la polietilenimina etoxilada, el PVNO o la carboximetilcelulosa, que ofrece buenos resultados en la eliminación de la suciedad en el algodón. Para evitar la pérdida de los tintes se utilizan también polímeros basados en la polivinilpiridina y derivados. Últimamente se estudian polímeros para la reparación de las fibras, evitando así el desgaste ocasionado en el lavado.

1.1.4.1.4 Enzimas

Las enzimas funcionan como catalizadores de productos orgánicos, su biodegradabilidad hace que a día de hoy sean muy utilizadas en detergentes, donde su función es la degradación de las moléculas orgánicas para así poder retirarlas de los tejidos.

Estas se escogerán en función de las necesidades del producto así como las condiciones de pH y temperatura del entorno para que las enzimas puedan actuar de forma óptima. Las más utilizadas son las proteasas, que trabajan rompiendo las cadenas de péptidos que forman las proteínas. Al romper las cadenas se facilita la solubilidad y la dispersión, eliminando así las manchas de sustancias proteicas, como la grasa y la sangre, más

fácilmente.

También se utilizan amilasas, que hidrolizan el enlace glucosídico de las manchas de almidón. Pueden ser significativas para la eliminación de manchas de ciertos alimentos, como el chocolate. Las lipasas hidrolizan los triglicéridos y los ésteres grasos, algo difícil para los tensoactivos, sin embargo requiere iones de calcio para maximizar su actividad, lo que genera una capa de jabón difícil de eliminar, esto hace que cada vez sean menos utilizadas [10]

1.1.4.1.5 Blanqueadores

Los blanqueadores decoloran las manchas cuando estas no se eliminan con facilidad, para ello las oxidan. El blanqueador más común es el peróxido de hidrogeno, agua oxigenada. Para formularlo en detergentes en polvo, normalmente se utiliza alguna sal estable de perborato.

Para que el rendimiento del peróxido sea adecuado, necesita altas temperaturas y altos tiempos de lavado, esto va en contra de las tendencias de los programas de lavado, por lo que se le añade algún activador, es decir un precursor que acelere la producción de perácido, cuya principal ventaja es la mayor reactividad que tiene frente al peróxido.

1.1.4.1.6 Agentes quelantes

Los agentes quelantes reaccionan con los iones de metales pesados para evitar así que estos reaccionen con otra sustancia. Esto se añade porque los iones metálicos suelen disminuir el rendimiento. Además estos iones funcionan de catalizadores para la descomposición de los blanqueadores.

La formulación de estos agentes depende de la regulación ambiental. En América del Norte se utilizan principalmente el ácido etilendiaminotetraacético, EDTA o el ácido pentético, DTPA. En Europa sin embargo el DTPA está prohibido debido a su toxicidad, por lo que es más común la utilización de Ácido dietilentriaminopenta (metileno fosfónico), DTPMP, o de etilendiamina tetra (metileno ácido fosfónico), DDTMP. Desde el punto de vista medioambiental, el más adecuado es el Ácido etilendiaminodisuccínico, EDDS, sin embargo su precio hace que no sea muy utilizado. [10]

1.1.4.1.7 Perfumes

Aun pareciendo algo secundario, los perfumes son una de las sustancias más importantes en un detergente. Puesto que desde el punto de vista del consumidor es una de las principales diferencias entre un detergente y otro.

Esto hace que se haga un gran esfuerzo para la formulación de los perfumes, en ocasiones compuestos por incluso más de 100 compuestos orgánicos diferentes. Estos perfumes no se pueden quedar en la ropa porque ocasionarían manchas, pero a su vez deben durar para que el consumidor adquiera el producto.

1.1.4.1.8 Relleno y productos minoritarios

Entre los productos minoritarios de un detergente, hay que destacar los blanqueadores ópticos, estos absorben la luz ultravioleta y emiten en tonos azulados, los cuales son los que se pierden haciendo que la prenda se quede amarillenta. Además en detergentes en polvo le dan el tono blanco al producto final.

Para los detergentes es muy importante el control del pH final, esto es más simple en detergentes en polvo que en los líquidos, en detergentes en polvo se suele utilizar carbonatos, silicatos y STTP.

El control de la espuma también es algo a tener en cuenta, especialmente en los detergentes para lavado a máquina. Para ello se utilizan inhibidores de la espuma a base de compuestos orgánicos de silicona, o en compuestos insolubles de nitrógeno. [10]

1.1.4.2 Normativa

A continuación se mencionarán los aspectos de la normativa que pueden afectar a la producción y venta de detergentes para textiles, para posteriormente aplicarla a la formulación del detergente a fabricar. En primer lugar se darán las definiciones actuales que la normativa da a los principales compuestos.

En el reglamento N° 648/2004 del parlamento europeo y del consejo de 31 de marzo de 2004 se define detergente como “toda sustancia o preparado que contenga jabón u otros tensoactivos y que se utilice en

procesos de lavado y limpieza. Los detergentes podrán adoptar cualquier forma y ser comercializados para uso doméstico, institucional o industrial.” A su vez define tensoactivo como “toda sustancia orgánica o preparado utilizado en los detergentes que tiene propiedades tensioactivas y que consta de uno o varios grupos hidrófilos y de uno o varios grupos hidrófobos cuyas características y tamaño permiten la disminución de la tensión superficial del agua, la formación de monocapas de esparcimiento o de adsorción en la interfase agua/aire, la formación de emulsiones y/o microemulsiones o micelas y la adsorción en la interfase agua/sólido.

A su vez define biodegradación primaria como “el cambio estructural de un tensoactivo por microorganismos con resultado de la pérdida de sus propiedades tensioactivas por degradación de la sustancia madre y la consiguiente pérdida de su capacidad tensioactiva de acuerdo con las mediciones a través de los métodos de ensayo enumerados en el anexo II” y biodegradación aeróbica final a “el nivel de biodegradación alcanzado cuando el tensoactivo sea totalmente descompuesto, en presencia de oxígeno, por microorganismos para dar dióxido de carbono, agua y sales minerales de cualquier otro elemento presente (mineralización), de acuerdo con las mediciones a través de los métodos de ensayo enumerados en el anexo III, y nuevos constituyentes celulares microbianos (biomasa)” y limita los tensoactivos cuya biodegradación aeróbica final sea inferior a la estipulada en el anexo que menciona.

En una modificación al reglamento mencionado anteriormente, el reglamento 259/2012, se limita la cantidad de fosfatos en detergentes para textiles, “no se comercializarán si el contenido total de fósforo es igual o superior a 0,5 gramos en la cantidad recomendada del detergente para su utilización en el ciclo principal de lavado en una carga normal de lavadora tal y como se define en la sección B del anexo VII para un agua dura.”

1.2 Estudio de Mercado

En este apartado se tratará de dar una idea de cómo está evolucionando el mercado de los detergentes. En primer lugar viendo la evolución de todo el mercado de limpieza e higiene personal, para posteriormente particularizar la de los detergentes. Por último se tratará de aclarar la evolución de los distintos tipos de detergentes para terminar con la evolución previsible de los detergentes en polvo. Dentro de los diferentes tipos de detergentes en polvo nos centraremos en los de baja densidad puesto que son los más consumidos dentro de los detergentes en polvo.

El mercado de productos para la limpieza e higiene abarca gran cantidad de productos de uso diario, desde detergentes hasta dentífricos o productos para la limpieza de carrocerías de automóviles. Este mercado por primera vez en 2018 superó los 5000 millones de euros en el mercado español, destacando dentro de este sector la producción de lejías en disolución con un 20% del valor total de producción o las aguas de tocador y colonias con un 12% del valor total. La evolución de este sector a largo plazo, aunque con altibajos, es ascendente, como se observa en la Ilustración 5.

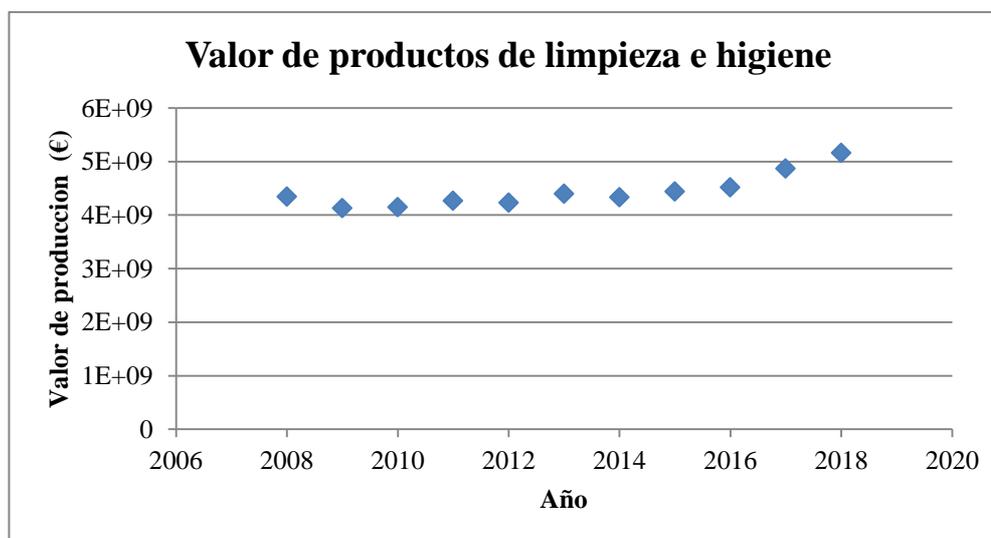


Ilustración 5. Evolución del valor generado por productos de limpieza e higiene en el mercado español. [11]

Si nos basamos en volumen de producción, la producción de lejías sigue siendo la mayor de todas, con un peso muy superior al de su distribución en valor comercial, superando el 50%, seguida muy de lejos con la producción de preparaciones tensoactivas, donde se encuentran los detergentes, con un 8,5% del total, como se observa en la ilustración 6.

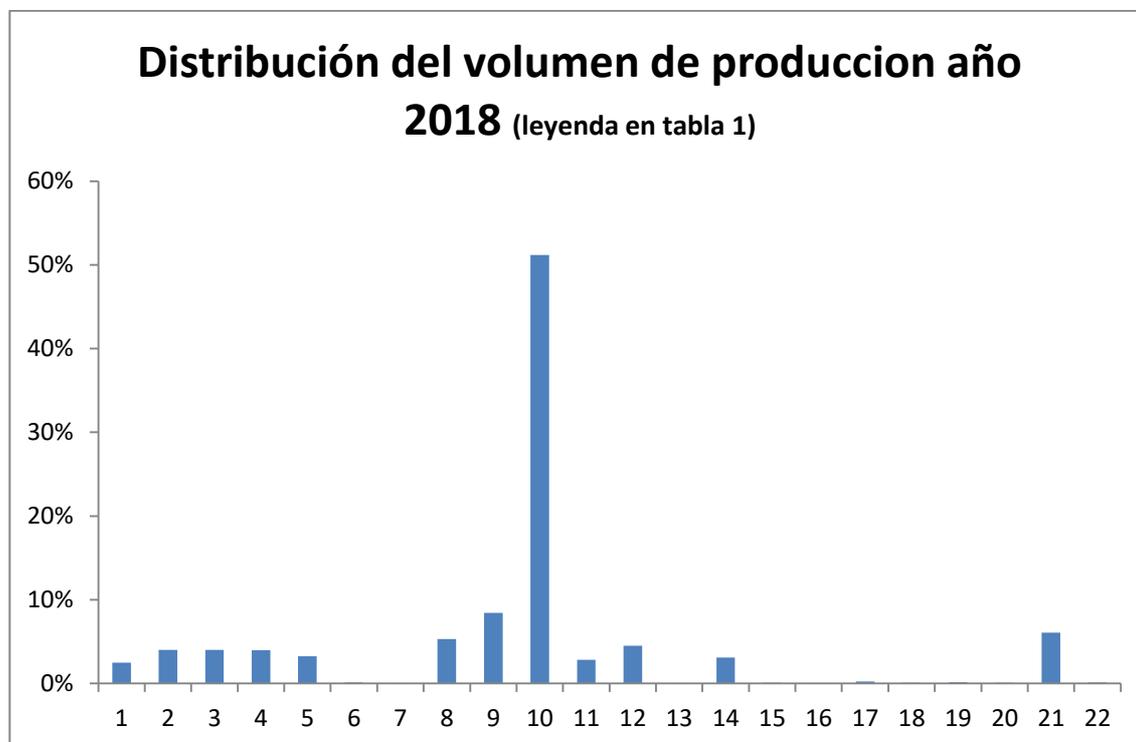


Ilustración 6. Distribución de volúmenes de producción en el mercado español. [11]

Glicerina en bruto (pureza < 95%); aguas y lejías glicerinosas	1	2,48%
Agentes de superficie (excluido Jabón)		
Aniónicos	2	4,01%
Catiónicos	3	4,00%
No iónicos	4	3,99%
Otros	5	3,24%
Jabón, productos y preparados orgánicos tensoactivos (excluidos detergentes y jabón en gel		
en barras	6	0,12%
En copos, gránulos o polvo	7	0,02%
En otras formas	8	5,29%
Preparaciones acondicionadas para la venta al por menor		
Preparaciones tensoactivas con o sin jabón (excluidas las utilizadas como jabón) a.p.v.m	9	8,44%
Para lavar y de limpieza (incluye lejías y similares en disolución acuosa; excluye amoníaco en disolución acuosa $\geq 20\%$ NH ₃) a.p.v.m	10	51,16%
Preparaciones no acondicionadas para la venta al por menor		
Preparaciones tensoactivas con o sin jabón (excluidas las utilizadas como jabón) n.a.p.v.m	11	2,82%
Para lavar y de limpieza (incluye lejías y similares en disolución acuosa; excluye amoníaco en disolución acuosa $\geq 20\%$ NH ₃) n.a.p.v.m	12	4,49%
Ceras artificiales y preparadas		
De polietilenglicol	13	0,001%
Las demás	14	3,07%
Betunes, cremas y preparaciones para calzado o cuero	15	0,08%
Encáusticos y preparaciones para conservación de manufacturas de madera	16	0,03%
Abrillantadores y preparaciones para carrocerías (excluidas preparaciones para lustrar metales)	17	0,22%
Abrillantadores para metales	18	0,09%
Los demás betunes cremas y preparaciones n.c.o.p.	19	0,16%
Pastas, polvos y demás preparaciones para fregar	20	0,09%
Jabones de tocador	21	6,08%
Productos y preparaciones tensoactivas orgánicas para la limpieza de la piel con o sin jabón a.p.v.m.	22	0,14%

Tabla 1. Leyenda de la ilustración 6.

Los detergentes para textiles se encuentran incluidos en las preparaciones tensoactivas. Como se puede observar en la Ilustración 7 su variación es más inestable, sin embargo su evolución es creciente. La venta de estos productos supera anualmente los 200 millones de euros y ronda las 250000 toneladas en el mercado español. Entre estos destacan los detergentes para textiles, así como los detergentes para vajillas.

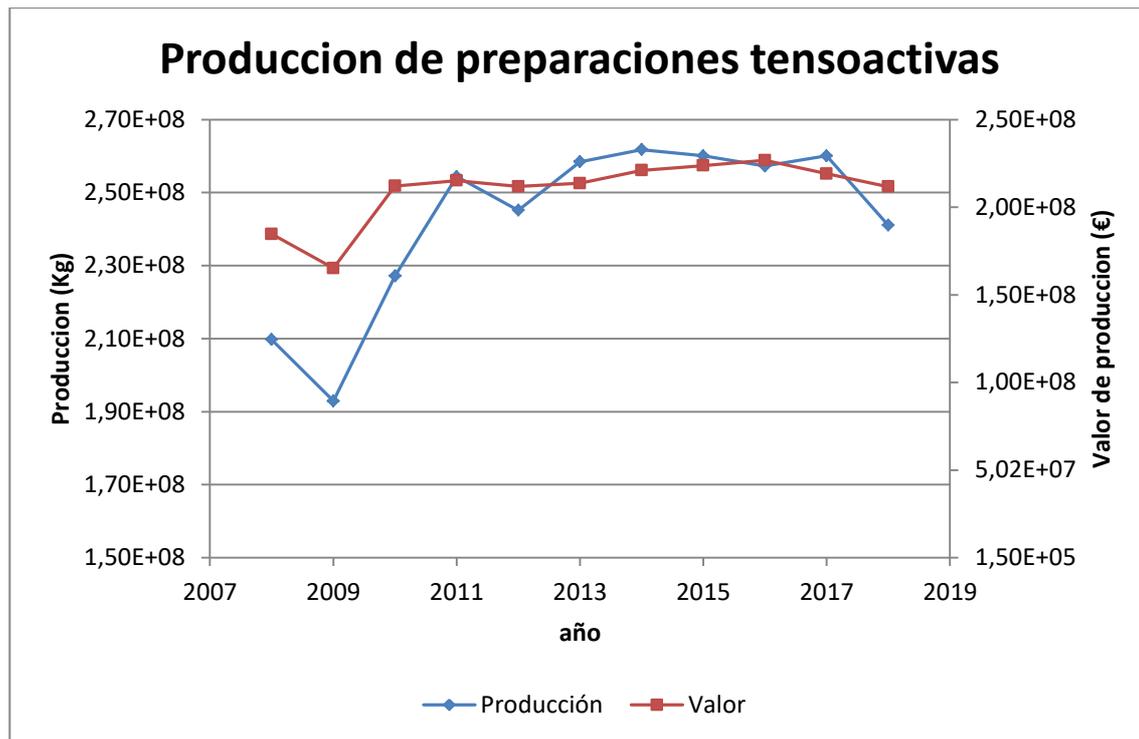


Ilustración 7. Evolución en el mercado español de la producción de preparaciones tensoactivas. [11]

En el mercado europeo, dentro de los detergentes para textiles, los utilizados para el lavado a máquina absorben el 91% del valor y el 98,8% del volumen suponiendo esto 592,5 millones de euros y 237,7 millones de kilogramos en 2017. Dentro de los detergentes a máquina la principal pugna se encuentra entre los detergentes líquidos y en polvo que suponen el 77,5% y el 21,7% del valor total del segmento de detergentes para lavadora respectivamente. Los detergentes en polvo han ido perdiendo cuota de mercado en favor de los detergentes líquidos, entre los años 2014 y 2017 estos detergentes perdieron un 14,5% del valor de sus ventas mientras los detergentes líquidos lo aumentaron un 7,7%. [12]

De la información anterior se puede concluir que aunque el mercado de detergentes tenga una evolución alcista, en el caso de los detergentes para textiles ese aumento en la producción se debe en gran parte a los detergentes líquidos y no a los detergentes en polvo. Esto no da lugar al rechazo absoluto para la producción de detergentes en polvo, debido a que los valores absolutos siguen siendo muy elevados, suponiendo una producción de 62,7 millones de kilogramos con un valor de 128,46 millones de euros [13]. Lo que sí se debería tener en cuenta que nuevos formatos de detergentes en polvo tendrían mayores dificultades para la entrada en el mercado. Por ello la planta debería en la medida de lo posible producir detergentes en polvo de baja densidad y basados en la venta a supermercados y grandes superficies debido a su mayor popularidad en la venta de estos, un 46% de los detergentes en polvo se venden en estas superficies [14], para ello se debería basar la producción en producto envasado, ya sea en envases de 5 kg o de 1 kg. También se podría vender el producto a lavanderías y otros negocios que compren directamente al por mayor, para ello se podría envasar también en mayores cantidades.

1.3 Fabricación de detergentes en polvo para textiles

En este apartado se darán las pautas principales para la fabricación de detergentes en polvo. En primer lugar se describirán las materias primas, se expondrán las características de compra y se dispondrá su forma de almacenamiento. También se informará sobre la forma de venta del producto y su almacenamiento. Después se verán los diferentes procesos de producción de detergentes en polvo para concluir con el método más utilizado actualmente.

1.3.1 Materias primas

En este apartado se verán las características de las materias primas utilizadas en la producción de detergentes en polvo. Estas materias corresponden en gran medida a la composición posterior puesto que excepto por una neutralización inicial el proceso consiste en una mezcla de componentes con una evaporación posterior del agua añadida.

1.3.1.1 Ácido sulfónico de alquilbenceno lineal (LABSA)

El LABSA es un ácido cuya neutralización genera una sal tensoactiva el LAS, que disminuye la tensión superficial del agua penetrando así mejor en los tejidos y además ayuda a la disolución de la grasa. En detergentes para textiles se encuentra en una proporción de entre el 10 y el 20 %.

Se presenta en forma de líquido viscoso con una densidad a 25°C de 1,053 g/cm³ y una viscosidad de 1500 cP. En España el principal comerciante es Cepsa química que lo comercializa con una pureza superior al 96% y con un peso molecular promedio de 321 g/mol. Se debe almacenar evitando la luz solar a una temperatura recomendada de entre 30 y 40 °C para reducir su viscosidad. El tanque se recomienda de acero inoxidable SS316 al igual que las líneas de transporte y nunca se debe almacenar por tiempo superior a 6 meses. [15]

1.3.1.2 Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio se utiliza para la neutralización del LABSA, su fórmula es NaOH. Se adquiere en forma de perlas y su densidad aparente ronda los 1,4 g/cm³. Es un compuesto que forma disoluciones básicas y su punto de fusión supera los 300°C. En cuanto a su almacenamiento, debe ser en un lugar alejado de posibles entradas de agua para evitar que se moje el producto, se recomienda el uso de silos de polietileno para su almacenamiento. Su disolución se debe llevar a cabo añadiendo el producto a agua, nunca añadiendo agua al producto, ya que genera una reacción fuertemente exotérmica y puede resultar peligroso. [16]

1.3.1.3 Lauril éter sulfato de sodio (SLES)

El SLES es un tensoactivo aniónico que mejora las características limpiadoras del LAS. Y se encuentra en proporción algo inferior al LAS, en torno al 5-10 %.

se presenta en forma de pasta amarillenta o blanca, con un peso molecular de en torno a 384 g/mol. Su almacenamiento se recomienda a temperatura inferior a 40°C y superior a 5°C, con una densidad a 20°C de 1,03 g/cm³ y una viscosidad cinemática de 25000 cP a 25°C. Se recomienda almacenarlo con ventilación en tanques de acero inoxidable, se recomienda también el uso de bombas y conductos de este mismo material y evitar su almacenamiento por tiempos prolongados. [17]

1.3.1.4 Zeolitas A

Las zeolitas funcionan como coadyuvante, es decir, disminuyen la dureza del agua eliminando los iones de calcio y magnesio disueltos. De esta forma estos iones no reaccionan con los tensoactivos, disminuyendo su rendimiento. Las zeolitas se empezaron a añadir como sustituto del tripolifosfato de sodio, perjudicial para el medio acuático. En detergentes para textiles se encuentra en una proporción cercana al 20 %.

Se trata de silicatos de aluminio y sodio de alta porosidad con una capacidad secuestrante superior a 160 mg de CaO/g anh. Las zeolitas tipo A se presentan en forma de polvo blanco insoluble en agua con una densidad aparente de 350 g/l. Su almacenamiento se realizará en silos sin que requieran medidas especiales. [18]

1.3.1.5 Carbonato sódico

El carbonato se utiliza como relleno en los detergentes, además regula el pH haciendo que los tensoactivos optimicen su función. En detergentes para textiles se encuentra en una proporción de entre el 5 y el 10 %.

Su fórmula es Na₂CO₃, tiene una masa molecular de 106 g/mol y alta solubilidad. Se puede encontrar en forma de polvo fino de color blanco y con una densidad aparente de 1045 kg/m³. Se recomienda su almacenamiento entre 5 y 35°C lejos de agentes oxidantes. Se almacenará en silos. [19]

1.3.1.6 Silicato sódico

Al igual que el carbonato, se utiliza como relleno con una proporción muy similar. Su fórmula es NaSiO_3 , en estado sólido es de color blanco e inodoro. Con un punto de fusión de 1088°C y su solubilidad de 200g/l . su función es similar a la del STTP, es decir, evita las deposiciones calcáreas y aumenta la efectividad, debido a que disminuye la dureza del agua. Normalmente se presenta en disolución de entre el 25-50%, su temperatura de ebullición es de 101°C , su densidad 1350 kg/m^3 y se recomienda almacenar, no más de 24 meses, entre 5°C y 30°C . [20]

1.3.1.7 Tetraacetiletilendiamina (TAED)

Se utiliza como precursor de los blanqueadores y son necesarias proporciones muy bajas. Se añaden a detergentes para ropa blanca. Este producto se adquiere en forma de polvo ligeramente soluble en agua con una densidad aparente de entre $0,5$ y $0,8\text{ g/cm}^3$. No conviene calentarlo en exceso por lo que sería adecuado tenerlo en cuenta a la hora de añadirlo. [21]

1.3.1.8 Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)

Se utiliza como agente quelante, es decir, elimina los iones metálicos presentes. No suelen encontrarse en proporciones superiores al 1 %. Se adquiere en forma de polvo blanquecino con una densidad aparente de unos 600 kg/m^3 . Conviene que sea añadido después de la atomización, para evitar que su temperatura aumente en exceso lo que hace que pueda descomponerse. [22]

1.3.1.9 Enzimas

Las enzimas se añaden en proporciones menores al 5 % para degradar las manchas orgánicas de los tejidos. Lo más adecuado sería adquirir preparados enzimáticos en polvo, que se añadirían en la última etapa de mezclado, ya que la temperatura las puede degradar. Estas enzimas se adquirirán envasadas y se introducirán en pequeñas tolvas dosificadoras, debido al bajo porcentaje necesario.

1.3.1.10 Carboximetilcelulosa (CMC)

La función de la CMC es evitar la redeposición de grasas en los tejidos. Se añaden proporciones muy bajas, inferiores al 1%. La carboximetilcelulosa se adquiere en forma de polvo blanquecino con alta solubilidad y una densidad aparente del entorno a los 500 kg/m^3 . Es un producto con una gran estabilidad por lo que no requiere condiciones de almacenamiento especiales. [23]

1.3.1.11 Perfumes

Para perfumar el detergente se pueden utilizar gran cantidad de productos y como anteriormente se ha mencionado la formulación del perfume en sí mismo puede llegar a asimilarse a la complejidad de la formulación del detergente. Debido a lo anterior se suelen subcontratar empresas para ello, desde el punto de vista de este análisis se asemejará al linalool, que se obtiene en forma de líquido incoloro con una densidad de $0,86\text{ g/cm}^3$. En cuanto a su almacenamiento se realizará en su recipiente de compra, herméticamente cerrado, y lejos de fuentes de calor y de la luz solar. Se introducirán en un sistema de dispersión para ser añadidos en el último paso de la producción, ya que no aguantan las temperaturas de la torre de atomización.

1.3.1.12 Bórax

El bórax se añade a los detergentes para ropa blanca y su objetivo es el blanqueamiento de esta. Se añade en proporciones inferiores al 10 %. Su fórmula es $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ con una masa molar de 381 g/mol . Se puede obtener en forma de polvo blanco muy soluble en agua con una densidad aparente de $0,75\text{ g/cm}^3$ y con una temperatura de fusión de 75°C . Es un producto muy estable, por lo que se puede almacenar durante un largo periodo. [24]

1.3.1.13 Agua

El agua es uno de los compuestos más importantes, puesto que es necesario para la producción del slurry

actuando como disolvente. La obtención se puede realizar desde pozos si se dispone de agua subterránea o en su defecto de la corriente pero esto elevaría en gran medida los costes.

1.3.2 Revisión de procesos de producción de detergentes en polvo para textiles

Debido a la variedad de formas de presentación de las materias primas, el gran problema de la producción de detergentes en polvo es el mezclado de estas para la consecución de un polvo homogéneo con un contenido controlado de humedad.

El detergente no debe contener polvillo de granulometría inferior a 0,1 mm, para evitar que sea excesivamente pulverulento, pero, sin embargo, ser inmediatamente soluble. Por razones de envasado debe tener una densidad baja, entre 0,3 y 0,5 g/cm³ y una porosidad elevada.

El principal proceso de producción consiste en la mezcla de todos los ingredientes en una pasta acuosa y un posterior secado en un *Spray Dryer*, debido al gasto energético se están buscando otras alternativas, como son la neutralización en seco y el mezclado y aglomeración de sólidos.

1.3.2.1 Neutralización en seco

Este proceso consiste en la mezcla de tensioactivos no iónicos, ácidos alquil sulfónicos y ácidos grasos con mejoradores alcalinos sólidos. El aparato de mezclado es de tipo rotatorio con cuchillas que pasan cerca de las paredes para así desintegrar los aglomerados. Para que se dé la neutralización se introduce una cantidad pequeña, en torno al 3 %, de solución de NaOH para que se inicie la reacción. El tiempo de mezclado es bastante inferior al del método clásico, no supera los 10 minutos.

La principal ventaja competitiva de este método es debido a la tendencia de aumentar la proporción de alcoholes etoxilados, que lleva consigo ciertas dificultades en el proceso tradicional. Sin embargo en este proceso se obtienen polvos de muy alta densidad, con un porcentaje muy alto de relleno. Para obtener un producto adecuado es habitual el mezclado de estos con detergentes producidos por secado por atomización. [25]

1.3.2.2 Mezclado y aglomeración de sólidos

Este proceso consiste en un mezclador rotatorio con las materias primas sólidas, estos productos van quedando suspendidos en el espacio donde por medio de pulverizadores se exponen a las materias primas hidrosolubles.

Tras el proceso de aglomerado el producto necesita ser acondicionado, se le elimina el exceso de agua. Cuando su temperatura disminuye, se criba y se mezclan el resto de aditivos, que no son estables en las condiciones de aglomeración. Este proceso permite conseguir una densidad menor que la neutralización en seco, aun así sigue siendo alta y con una humedad elevada, en torno al 20%.

Aunque su coste tanto de inversión como de operación respecto al secado por atomización es menor el producto suele ser mezclado con detergente obtenido por secado por atomización para obtener un producto con características adecuadas. [25]

1.3.2.3 Secado por atomización

Este proceso comienza con la preparación de una pasta denominada slurry. El slurry consiste en una mezcla acuosa de tensioactivos neutralizados con el resto de componentes, excepto los sensibles a la temperatura, que contiene en torno a un 30% de agua. Los productos sólidos se llevan desde una tolva de almacenamiento a un sistema de pesado que mediante tornillos los llevan al tanque, mientras que los líquidos son llevados por un sistema de tuberías hasta un mezclador donde se homogeneiza el slurry.

La pasta es introducida después en un madurador durante 20 minutos para que se hidraten bien todos los componentes y se consigan unas características reológicas estables. Posteriormente se bombea mediante un sistema de alta presión hasta la cabeza de la torre de secado.

En la torre la pasta es atomizada y puesta en contacto con una corriente caliente de gases, en isocorriente o en contracorriente, que hace que se evapore el agua. Con esto se consigue que al llegar al fondo obtengamos una partícula seca con muy alta porosidad y una humedad de en torno al 3%.

La temperatura del polvo es muy elevada entre 75 y 120°C, por lo que el paso siguiente ha de ser bajarle la temperatura para después poder tamizarlo. En el tamiz interesa la fracción entre 0,5 y 2 mm, esto se elige para su disolución rápida en el agua, sin que tenga excesivo polvo, Tanto la fracción fina como la gruesa deben ser recirculadas para volver a disolverse y pasar por la torre de atomización. Por último se le han de añadir los últimos aditivos que son sensibles a la temperatura. [25]

Este sistema genera partículas de gran porosidad lo que hace que su solubilidad sea muy buena. Además su densidad puede ser variable de 0,2 a 0,8 g/cm³. Los detergentes obtenidos por este método tienen un gran rendimiento de limpieza, una fluidez adecuada y unos costes de materias primas minimizados. En contraposición sus costes de inversión son muy elevados, así como los costes energéticos. [26]

2 ANÁLISIS TÉCNICO

En este apartado se tratará de realizar un análisis técnico del proceso de fabricación de detergentes en polvo. En primer lugar se estudiará la formulación final de los detergentes a producir, basados en una misma base de compuestos pero con la variación de ciertos aditivos, puesto que es uno de los aspectos principales a tener en cuenta antes de comenzar con el resto de elementos. Para la formulación se tendrán en cuenta ciertos aspectos mencionados anteriormente como la normativa y las propiedades de los tensoactivos y otros compuestos, también se tendrá en cuenta el mercado al que va dirigido. Posteriormente se definirá una producción anual de detergente, para que partiendo de esa producción, se explique el proceso de producción del que partir, teniendo en cuenta la información sobre estos señalada anteriormente, pudiendo también realizar un balance de materia en la planta, que permita la realización del dimensionado de los equipos principales.

2.1. Análisis del producto final y bases de partida

El objetivo de este apartado es la aclaración de la composición final del detergente a fabricar en la planta, así como a determinar una base de partida de producción de detergente a partir de la cual se realizará el balance de materia.

2.1.1 Análisis del producto final

La composición final del producto debe asegurar ciertas características, la principal de ellas es la de retirar la suciedad de los tejidos, pero además debe tener un olor agradable y una consistencia adecuada y una humedad de en torno al 8%. Como se dijo anteriormente se busca un detergente en polvo de baja densidad con una composición que minimice los costes de materias primas manteniendo un rendimiento de lavado elevado para ello se opta de tres propuestas expuestas en la Tabla 1. En estas composiciones se puede observar que los detergentes tienen entre un 10 y un 20 % de tensoactivos aniónicos a los que se le añaden diversos aditivos mencionados anteriormente para mejorar sus características, como pueden ser el STTP y las zeolitas, ambos coadyuvantes, que reducen la dureza del agua. También contienen blanqueadores, como son los perboratos y enzimas para eliminar la materia orgánica de los tejidos. Por último se pueden observar ciertos polímeros que mejoran las propiedades de lavado y agentes quelantes para eliminar los iones metálicos del agua.

Compuestos	% en peso		
	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
LAS	8	10	0
AES	0	1	5,3
Alquil sulfatos	2	7	0
Alquil sulfatos secundarios	2	0	0
Alcohol etoxilado	3,4	1	3,3
STTP	0	0	10,7
Zeolita A	18	22	10,7
Carbonato	13	19	6
Silicato	1,4	1	7
Sulfato de sodio	26	10	40
Perborato de sodio tetrahidrato	9	0	5
Perborato de sodio monohidrato	0	1	0
TAED	1,5	0	0,5
NOBS	0	4	0
HEDP	0,3	0	0
DTPA	0	0,4	0
Proteasas	0,8	0,3	0,3
Amilasas	0,8	0,1	0,1
Lipasas	0,2	0	0,2
Celulasa	0,15	0	0,3
Copolimero Acrílico/maleico	0,3	1	0,8
CMC	0,2	0	0,2
Polímero de limpieza a base de poliéster	0,2	0,4	0

Tabla 2. Formulaciones típicas de detergentes. [27]

De esas propuestas la primera que se debería descartar es la segunda, debido a que el DTPA está prohibido en Europa, y el detergente estaría dirigido a este mercado, concretamente al mercado español. Entre las otras dos propuestas, ambas serían válidas aunque la tercera contiene STTP, que al ser dañino para el medioambiente es preferible evitarlo. Sin embargo es preferible hacer ciertas variaciones para adaptarlo a lo que se encuentra en el mercado. En primer lugar el HEDP es preferible sustituirlo por EDTA otro agente quelante más común en los detergentes españoles, así como convendría sustituir los alquil sulfatos por alquil éter sulfatos. En la Tabla 2 se expone la composición final del detergente a producir con la proporción de agua y de compuestos minoritarios añadida. En los detergentes para ropa de color la fórmula no cambiaría más que eliminando los elementos blanqueadores [27], por lo que obtendríamos dos composiciones similares la primera de ellas para ropa blanca, la segunda especial para ropa de color.

Compuestos	1 % en peso	2 % en peso
LAS	12	13,2
SLES	5	5,5
Zeolita A	18	19,8
Carbonato	10	11
Silicato	10	11
Sulfato de sodio	23,55	25,8
Bórax (borato de sodio)	6,5	0
TAED	1,5	0
EDTA	0,3	0,3
Preparado enzimático	1,95	2,1
Copolimero Acrílico/maleico	0,3	0,3
CMC	0,2	0,2
Polímero de limpieza a base de poliéster	0,2	0,2
Perfume	0,5	0,5
Agua	10	10

Tabla 3. Propuesta de formulación de detergente.

Dentro de los productos minoritarios cabe el perfume. Formular el perfume, como anteriormente se dijo, es uno de los pasos más importantes para la venta de detergentes puesto que para el consumidor es un elemento de gran importancia. Para ello se utilizan comúnmente sustancias como el hidroxicitronelal, el geraniol, citronelal, citronelol, linalool o mentol. Para la elaboración de un perfume para el detergente se contratará una empresa externa, acción muy habitual en este sector.

2.1.2 Bases de partida

Para comenzar al balance de materia se tomará una base de partida de producto final, es decir la cantidad que producirá la planta por hora. Esta producción se considera que será de 15 toneladas por hora, sin embargo hay que tener en cuenta que la mitad del tiempo producirá detergente para ropa de color, y este no llevará dos de los compuestos, por ello la producción durante ese tiempo será inferior, de 13,8 toneladas, haciendo una media de 14400 kg/h. Teniendo en cuenta que el tiempo de producción anual habitual son 8000 h se obtiene una producción anual de 115200 toneladas anuales de detergente en polvo.

Como anteriormente se ha dicho el producto se venderá envasado a superficies comerciales, en envases de 5 kg, puesto que, como se ha visto anteriormente, es el formato de venta más común, también se puede envasar para su venta al por mayor en envases de mayor tamaño. El envasado se realizará en planta para evitar el aumento de los costes debido al exceso de intermediarios. En cuanto a la compra de materias primas se realizara en la mayoría de casos a granel y se almacenara en silos o tanques según su estado. Posteriormente se darán más detalles a este respecto. Su almacenamiento se buscará que haya una autonomía de unos 5 días aproximadamente, aunque se tratará de recibir las materias primas 2 veces por semana. La recepción del producto terminado la realizaran camiones que se cargarán mediante carretillas elevadoras. El almacenamiento de producto, ya envasado y dispuesto en palés, se hará en una nave con cargadero de camiones y tendrá capacidad de almacenamiento para la producción de 3 días, aun tratando de que sean recogidos diariamente.

2.2. Proceso de producción

A continuación se indicará cuál de los procesos de producción explicados anteriormente se utilizará en la producción del detergente en polvo. Para ello habrá que tener en cuenta diversos aspectos tanto del proceso

como del producto final que se obtendrá. Además se explicará a fondo el proceso de producción, aclarando en cada parte del proceso la elección de una u otra forma de resolver cada problema.

En cuanto al producto, se busca una gran porosidad para que la disolución sea rápida, esto conlleva una densidad baja, de ahí que se busquen productos con esta característica. A este respecto el mejor de los procesos es el de secado por atomización, ya que el polvo obtenido por neutralización tiene una densidad de entre 0,6 y 0,9 kg/cm³ y el obtenido por aglomeración en torno a 0,5 kg/cm³ [25], en contraposición del obtenido por atomización que se puede llegar a obtener con una densidad de hasta 0,2 kg/cm³ [26]. En cuanto a los costes de inversión y energéticos son bastante más elevados en el caso del secado por atomización, sin embargo se suelen reducir los costes de materias primas. A pesar del elevado coste de inversión, el método de secado por atomización es el más adecuado, debido a que el producto obtenido es el que tiene las mejores características físicas, que es uno de los problemas principales de esta industria, y una formulación consolidada.

En primer lugar se necesita neutralizar el LABSA, esto se realiza con NaOH y se produce una reacción fuertemente exotérmica, esta energía se podría utilizar para calentar el resto de los componentes del slurry, ya que cuanto mayor sea la temperatura menor será el gasto energético en la torre de atomización. La composición del slurry solo contiene los compuestos a los que no le afecta la temperatura, que son el LAS, el SLES, carbonatos, silicatos, CMC, bórax, sulfato de sodio y el agua necesaria para conseguir un slurry con un 30 % de agua. Todos estos productos han de ser íntimamente mezclados, para ello entran en un mezclador (TK-2001), con funcionamiento en continuo y de este pasan a un tanque de maduración donde han de estar durante 20 minutos. Este proceso se realiza por lotes, para asegurar la mezcla correcta, por lo que sería adecuado disponer de varios tanques de maduración, para así conseguir el funcionamiento en continuo de la planta, se dispondrán 3 tanques de maduración (TK-2002, TK-2003, TK-2004), de forma que mientras uno se está llenando, otro se está vaciando y en el último de ellos está el slurry en maduración. Tras la maduración del slurry se necesita elevarlo hasta la zona superior de la torre de atomización (T-3001), para ello se utilizan bombas especiales para este tipo de fluidos.

Una vez en la zona superior de la torre, es necesario atomizar el slurry y para ello lo más adecuado es la utilización de boquillas de atomización a presión, ya que las partículas se obtienen de tamaño adecuado, de estas boquillas y su limpieza dependerán en gran medida los finos arrastrados en la torre y los gruesos rechazados por el tamiz. Una vez pulverizado se encuentra en contracorriente una corriente de gases de combustión a gran temperatura. La disposición en contracorriente, aunque hay que introducir ciclones para eliminar el polvo arrastrado, es más eficiente y necesita menos altura de torre. Cuando las gotas llegan al punto inferior de la torre se obtiene un polvo poroso a gran temperatura, este debe ser enfriado y tamizado.

Para la obtención de la corriente de gases calientes se utilizará un horno de gas natural, con la salida de gases a 260°C, temperatura habitual de funcionamiento de las torre. Esta corriente se dimensionará de forma que la cantidad de agua a eliminar sea menor del 10%, límite de saturación del agua a esa temperatura.

En el mismo transportador de tornillo de salida de la torre se puede enfriar el producto utilizando un tornillo con una camisa con fluido refrigerante. Una vez frío se tamiza, debido a que la torre es en contracorriente los finos se separarían en ella, lo que hace que solo sea necesario un tamiz (SP-3001), el tamaño máximo habitual es de 0,5 mm. Tanto los finos depositados en el ciclón, como los gruesos del tamiz son reutilizados, para ello son llevados al mezclador. Los finos al estar en un lugar elevado, pueden llegar por gravedad, mientras que para llevar los gruesos del tamiz se utilizará transporte neumático.

Después se deben añadir los compuestos que no se han añadido anteriormente, esto se realizara mediante atomización de los compuestos solubles y la dosificación de los sólidos durante el paso por un transportador de tornillo (SC-3002). De forma que el tornillo sirva para mezclarlos íntimamente, consiguiendo un producto homogéneo. Por último se envasara y se dispondrá en palés antes de ser llevado a un almacén para su recogida.

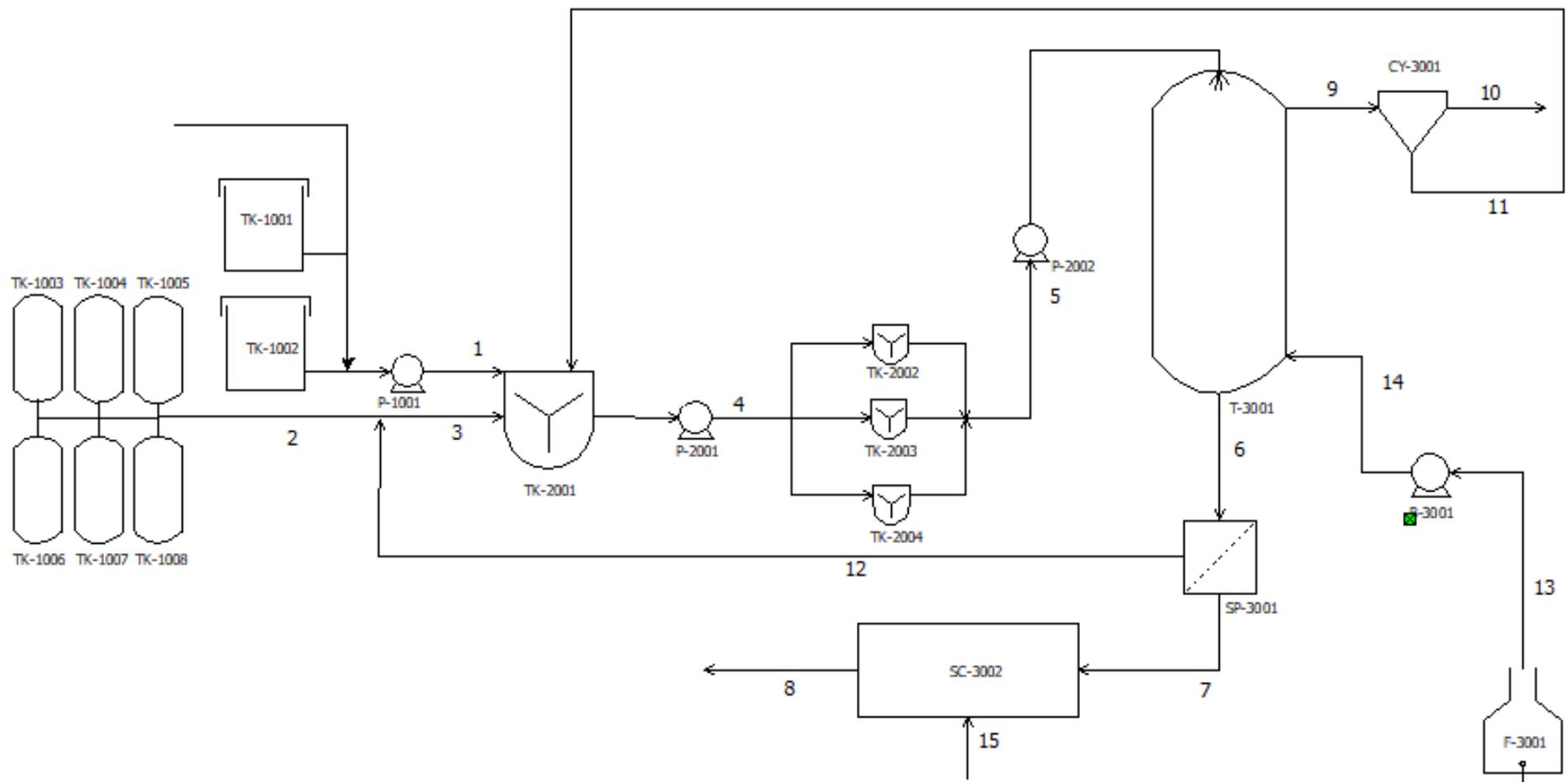


Ilustración 8. Diagrama de flujo de proceso

Código	Equipo
TK-1001	Tanque de almacenamiento de LABSA
TK-1002	Tanque de almacenamiento de SLES
TK-1003	Tanque de almacenamiento de NaOH
TK-1004	Tanque de almacenamiento de carbonato sódico
TK-1005	Tanque de almacenamiento de silicato sódico
TK-1006	Tanque de almacenamiento de sulfato sódico
TK-1007	Tanque de almacenamiento de bórax
TK-1008	Tanque de almacenamiento de CMC
P-1001	Bombas de impulsión de materias primas líquidas
TK-2001	Mezclador de slurry
P-2001	Bomba de impulsión de slurry a maduradores
P-2002	Bomba de impulsión de slurry a torre
TK-2002	Tanque madurador de slurry
TK-2003	Tanque madurador de slurry
TK-2004	Tanque madurador de slurry
T-3001	Torre de secado por atomización
CY-3001	Ciclón para limpieza de gases de secado
SP-3001	Tamiz de polvo de detergente
H-3001	Horno de gas natural
SC-3001	Transportador de tornillo de detergente

	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	8
NaOH	0	222.2	222.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LABSA	1777.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LAS	0	0	94.7	1994.5	1994.5	1894.7	1800	99.7	10	89.8	94.7	0	0	0	1800
SLES	791.6	0	831	831	831	789.5	750	41.6	4.2	37.4	39.5	0	0	0	750
Zeolita A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2700	2700
Carbonato sódico	0	1583.1	1662	1662	1662	1578.9	1500	83.1	8.3	74.8	78.9	0	0	0	1500
Silicato sódico	0	1583.1	1662	1662	1662	1578.9	1500	83.1	8.3	74.8	78.9	0	0	0	1500
Sulfato sódico	0	3728.2	3914.1	3914.1	3914.1	3718.4	3532.5	195.7	19.6	176.1	185.9	0	0	0	3532.5
Bórax	0	1029	1080.3	1080.3	1080.3	1026.3	975	54	5.4	48.6	51.3	0	0	0	975
TAED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	225	225
EDTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	45
Preparado enzimático	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	292,5	292,5
Copolímero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	45
CMC	0	31.7	33.2	33.2	33.2	31.6	30	1.7	0.2	1.5	1.6	0	0	0	30
Polímero poliéster	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30
Perfume	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	75
Agua	2911,6	0	78,9	4790,3	4790,3	1578,9	1500	3211,3	3155,4	55,9	78,9	0	0	0	1500
Gas natural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0
Aire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39188	0	0	0
Gases de combustión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39438	0	0
Total	5480,8	8177,3	9578,7	15967,6	15967,6	12197,4	11587,5	3770,2	3211,3	558,9	609,9	57527	39438	3412,5	15000

Tabla 4. Balance de materia de la planta (kg/h).

2.3. Dimensionado de las unidades de proceso

2.3.1 Tanques

2.3.1.1 LABSA

En primer lugar se definirá el tamaño de los tanques donde se almacenará el LABSA. Para ello se tendrá en cuenta que su consumo es de 1.780 kg cada hora. Por lo que diariamente se consumirán 42.670 kg y para una autonomía de 5 días de producción 213.315 kg. Teniendo en cuenta que su densidad es de 1,053 kg/l el tanque en cuestión necesitaría un volumen de 200 m³. Que si se disponen con una altura igual a su diámetro, tendríamos un depósito de aproximadamente 6,36 m de diámetro. Que como se dijo anteriormente debe ser de acero inoxidable SS316.

2.3.1.2 SLES

Para el almacenamiento de SLES se procederá de igual forma. Su consumo es de 792 kg cada hora por lo que se necesitará almacenar 94.990 kg para tener una autonomía de 5 días. El volumen necesario para su almacenamiento, teniendo en cuenta que su densidad es de 1,03 kg/l, sería de 92,22 m³. El tanque necesitará 4,9 m de diámetro con una altura igual. En cuanto al material también se recomienda SS316.

2.3.2 Silos

En cuanto a los silos cabe destacar que todos, si no se menciona lo contrario, serán de acero inoxidable. Su sistema de descarga será mediante una válvula alveolar controlada por un transmisor de peso.

2.3.2.1 NaOH

En el caso del NaOH se necesitan 225 kg cada hora. Por lo que para tener una autonomía de 5 días serán necesarios 26.665 kg, como su densidad aparente es 1,14 kg/m³ se necesitará un silo de 23,5 m³. Para este almacenamiento se utilizará polietileno.

2.3.2.2 Carbonato sódico

En cuanto al almacenamiento de carbonato, teniendo en cuenta los mismos parámetros vistos anteriormente se hace necesario almacenar 190.000 kg, para lo que sería necesario un volumen de 182 m³ aproximadamente. Para ello se utilizarán 2 silos de 91 m³.

2.3.2.3 Silicato sódico

De silicato sódico será necesario almacenar la misma masa que de carbonato, 190.000 kg, aunque su mayor densidad, disminuye considerablemente el volumen necesario, que resulta ser 135 m³, que se dividirá en 2 silos de 67,5 m³.

2.3.2.4 Sulfato sódico

El almacenamiento de sulfato de sodio supondría 450.000 kg, lo que correspondería con 320 m³ para su almacenamiento, por lo que se instalarán 3 silos de 107 m³.

2.3.2.5 Bórax

En el caso del Bórax serán necesarios 1029 kg cada hora, lo que supondría un almacenamiento de 61.740 kg, que teniendo en cuenta que la densidad del Bórax es de 750 kg/m³ haría necesario un volumen de 85 m³. Este compuesto solo lo llevaría una parte de la producción, debido a ello es menor el almacenamiento necesario.

2.3.2.6 Carboximetilcelulosa

Respecto al CMC cabe destacar que se necesitará almacenar 3.800 kg lo que supondrá 7,6 m³ de silo.

2.3.2.7 TAED

Para el almacenamiento de TAED se utilizará un silo con una capacidad de 34 m³, capaz de almacenar 27000 kg de este compuesto

2.3.2.8 Zeolita

El almacenamiento de zeolita necesitará 560 m³ para almacenar 195.000 kg, lo que supondría autonomía para 3 días de producción, pero debido a su baja densidad, 350 kg/m³[18], almacenarlo para más días supondría un exceso de volumen a almacenar. Estos 560 m³ se dividirán en 5 silos de 112 m³.

2.3.3 Otros almacenamientos

El resto de compuestos se almacenarán en una nave con correcta ventilación en sus recipientes de compra, debido a su bajo volumen de almacenamiento. Serán vertidos en pequeñas tolvas o recipientes de aspersión para añadirse al detergente.

2.3.4 Mezclador

Para el volumen del mezclador en primer lugar se necesita estimar la densidad del slurry. Ello se realizará utilizando la suma de las masas de todos los compuestos y el volumen real que ocupan, con lo que se obtiene que la densidad del slurry es de 1.460 kg/m³. Con ello obtenemos que en mezclador entran 11 m³/h, de los que se obtiene que para un tiempo de residencia de 5 minutos, suficiente para la reacción y la disolución de los componentes se necesita un mezclador de aproximadamente 1 m³.

Teniendo en cuenta las características del fluido, entre ellas su alta viscosidad, las palas no deben girar a gran velocidad.

2.3.5 Tanques de maduración

El objetivo de estos equipos es la correcta hidratación de todos los compuestos, para ello se necesita un tiempo de residencia adecuado. Los equipos funcionan en discontinuo por lo que será necesario el uso de 3 equipos para el funcionamiento en continuo de la planta, mientras uno se llena, otro se vacía y en el otro reposa el slurry. Para conseguir el funcionamiento en continuo, en cada equipo deberá haber un tercio de la producción por hora, puesto que se necesitan un tiempo de residencia de 20 minutos. Por lo que el volumen de los tanques deberá ser de 3,7 m³.

A estos equipos se le deberá añadir un sistema de bombeo para evitar la sedimentación y ayudar al mezclado, este tipo de bombas tendrán que ser especiales para slurry, puesto que es una mezcla muy viscosa y además suelen desgastar ciertos componentes de la bombas.

2.3.6 Torre de atomización

El objetivo de este equipo es la eliminación del agua del slurry para la obtención de polvo. Para la obtención de 15000 kg/h se estima que se necesitará una torre de 30 m de altura y 6 de diámetro [26]. A ella debe entrar

una corriente de aire de 39.438 kg/h proveniente de una cámara de combustión a una temperatura de entre 250 y 270 °C.

El slurry será atomizado por unas boquillas por la parte superior y será recogido mediante una tolva en un tornillo con camisa de refrigeración para llevarlo al tamiz a una temperatura adecuada, ya que de la torre sale en torno a 100°C [26] y al tamiz debe llegar a una temperatura no muy elevada. Los gases de combustión saldrán por la zona superior de la torre y pasarán por un ciclón para la eliminación de las partículas sólidas antes de descargarlo a la atmosfera. Las boquillas de atomización son equipos clave a la hora de obtener un producto con la granulometría deseada, por lo que se debe tener en cuenta que es necesario un estudio exhaustivo para su elección, además de su limpieza constante, pudiéndose para ello instalar un sistema de limpieza en varias fases para evitar la parada de la planta.

2.3.7 Tamiz

Para el cribado del detergente se debe utilizar una malla Tyler 32 con una luz de malla de 0,495 mm. El dato principal de un tamiz es el área de cribado, que en este caso es de 5,3 m². Aunque hay que tener en cuenta la falta de datos sobre la granulometría del material lo que podría hacer que aumentara esta área, por ello se sobredimensionará y se tomará un tamiz de 5,7m².

2.3.8 Horno

Para obtener una corriente de aire caliente se necesita un horno que envíe los gases de combustión a la torre de secado. El horno debe llevar una corriente de gases de combustión de 39438 kg/h. Para que la temperatura de esta corriente llegue a los 260°C se necesitan 250 kg/h

La obtención de estos datos ha sido mediante un balance de materia en el horno. Se ha tomado un rendimiento del horno de un 95%, y se ha supuesto que el calor específico de los gases de combustión es igual al del aire ya que será una mezcla muy similar a este. Para el balance se ha utilizado la Formula 1.

$$\mu * (M_{cb} * PCI + M_{aire} * Cp_{aire} * (Te_{aire} - 25)) = M_{gc} * Cp_{aire} (T_{sal} - 25) \quad \text{Formula 1}$$

Dónde:

- $\mu=0,95 \rightarrow$ Rendimiento habitual de una caldera
- $M_{cb}=210 \text{ kg/h} \rightarrow$ Masa de combustible necesaria
- $PCI=46973 \text{ kJ/kg} \rightarrow$ Poder calorífico inferior del gas natural
- $M_{aire}=39.228 \text{ kg/h} \rightarrow$ Masa de aire a introducir en el horno
- $Cp_{aire}=1,01 \text{ kJ/(kg k)} \rightarrow$ Calor específico del aire
- $Te_{aire}=25^\circ\text{C} \rightarrow$ Temperatura de entrada del aire
- $M_{gc}=39438 \text{ kg/h} \rightarrow$ Masa de gases de combustión para que a la salida de la torre contenga 0.08 kg de agua/kg de aire seco. Aunque el máximo sea 0,1 se toma 0,8 por la humedad generada en la combustión.
- $T_{sal}=260^\circ\text{C} \rightarrow$ Temperatura necesaria en la torre de atomización.

2.3.9 Bombas y ventiladores

Para la impulsión de fluidos se utilizarán bombas, dependiendo del fluido tendrá unas características u otras. La impulsión de agua no da más problemas que el conocimiento del caudal y la pérdida de carga. Sin embargo las de LABSA y SLES, tienen que tener las partes en contacto con el fluido de acero inoxidable para evitar la corrosión.

En cuanto a las bombas de slurry se necesitan unas bombas adecuadas a estos fluidos. Entre ellas destaca la bomba de elevación a la torre, ya que debe vencer una altura de 30 m con un caudal de 182 l/s además tiene que estar preparada para soportar temperaturas elevadas.

En cuanto a la impulsión de los gases de combustión se utilizará un ventilador, ya que son capaces de mover grandes volúmenes de gas, y la pérdida de carga a vencer no es elevada.

2.3.10 Transportadores de tornillo

Para el movimiento de los sólidos granulados se utilizarán tornillos sin fin estos serán llenados por unas tolvas de pesaje y se tratará en la medida de lo posible utilizar los mismos para varios compuestos que vallan al mismo depósito, consiguiendo de esta forma un premezclado.

En cuanto a los tornillos se debe destacar el de salida de la torre de atomización que necesitará un sistema de encamisado para su refrigeración.

2.4. Presupuesto

En este apartado se presentará un presupuesto estimado de los principales equipos, también del terreno a comprar y de los precios de las materias primas. Esto se utilizará de base para posteriormente realizar un análisis económico de la viabilidad de la planta. En primer lugar se presenta la tabla 5 con los precios estimados de los principales equipos.

Equipo	Característica	Valor	Precio \$
Silos			
NaOH	volumen (m ³)	23,5	80.713
Carbonato	volumen (m ³)	182	92.806
Silicato	volumen (m ³)	135	85.130
Sulfato	volumen (m ³)	320	115.341
Bórax	volumen (m ³)	85	114.677
CMC	volumen (m ³)	7,6	47.741
TAED	volumen (m ³)	17	70.881
Zeolita	volumen (m ³)	560	154.533
Tanques			
LABSA	volumen (m ³)	200	95.745
SLES	volumen (m ³)	92,22	78.145
Mezclador			
	Volumen(m ³)	1	9.457
Tanques de maduración			
	Volumen(m ³)	3,7	58.128
Torre de atomización			
	kg/s agua evaporada	6	713.960
Tamiz			
	Área(m ²)	5,7	74.111
Horno			
			100.000
Bombas			
	Caudal		10.000
Tornillos			
	Longitud		101.668
Ciclón			
	Caudal de gas (m ³ /s)		5.046
Ventilador			
	Caudal (m ³ /s)		11.589

Tabla 5. Precio de los equipos [28]

De esta tabla se obtiene un valor final de 2.976.812 \$ lo que al cambio suponen 2.530.290 € que se amortizará en 10 años, tiempo estimado de la inversión. Por otro lado se estima el precio del metro cuadrado industrial en Sevilla a 65 €/m², por lo que un solar de 150 m por 150 m costará en torno a 1.462.500 €. A partir de la estimación del precio de los equipos, utilizando el método de Chilton para la estimación del coste total de la planta, se obtienen los valores de la tabla 6.

Item	Concepto	Factor	Aplicado a	Valor (€)
1	Coste equipos principales	1	1	2.530.290
2	Coste equipos instalados	2,2	1	5.566.638
3	Tuberías	0,1	2	556.664
4	Instrumentación	0,1	2	556.664
5	Edificios y preparación del terreno	0,5	2	2.783.319
6	Auxiliares	0,1	2	556.664
7	Líneas exteriores	0,05	2	278.332
8	Coste directo total	Suma conceptos 2 a 7		10.298.281
9	Ingeniería y construcción	0,2	8	2.059.656
10	Contingencia y beneficio del contratista	0,2	8	2.059.656
11	Factor de tamaño	0,15	8	1.544.742
12	Coste indirecto total	Suma conceptos 9 a 11		5.664.055
13	Coste total de la planta	Suma conceptos 8 y 12		17.424.836

Tabla 6. Coste de la planta por el método de Chilton

3 ANÁLISIS ECONÓMICO

A Continuación, utilizando los datos obtenidos anteriormente se realizará un análisis de viabilidad económica de la planta con la obtención de los principales factores a tener en cuenta a la hora de afrontar una inversión, la tasa interna de rentabilidad, TIR; el valor actual neto, VAN, y el plazo de recuperación o payback. Para ello en primer lugar se estimará el coste de las materias primas así como el precio posible de venta del detergente, utilizando los precios de los múltiples detergentes que actualmente se encuentran en el mercado y buscando un precio competitivo dentro de este.

En primer lugar se puede ver en la tabla 6 los precios de cada kilogramo de materia prima, así como la masa necesaria a lo largo de un año, Obteniendo así los gastos anualizados en materias primas.

Materia	Precio por kilogramo	Masa anual (kg/año)	Precio anual (€/año)
NaOH	0,26 \$ [29]	1.777.600	438.178
LABSA	1,2 \$ [30]	14.212.800	14.497.056
SLES	0,98 \$ [31]	6.332.800	5.275.222
Zeolita A	1,79 \$ [32]	21.600.000	32.864.400
Carbonato	0,29 \$ [33]	12.664.800	3.121.873
Silicato	1,5 \$ [34]	12.664.800	16.147.620
Sulfato	1 \$ [35]	29.825.600	25.351.760
Bórax	0,6 \$ [36]	4.116.000	2.099.160
TAED	3 \$ [37]	900.000	2.295.000
EDTA	2,5 \$ [38]	360.000	765.000
CMC	0,8 \$ [39]	253.60	172.448
Agua	3,06 x10 ⁻⁶ €	23.292.800	71
Gas natural	0.08 €	1.680.000	137.705

Tabla 7. Precio materias primas

De esta tabla se obtiene un coste de materias primas total de 103.165.494 € anuales, de ellos hay que tener en cuenta que será necesario añadir a la inversión el coste de materias primas de un mes de funcionamiento de la planta, es decir, sería necesario añadir a los costes anteriormente presentados 8.597.125 € en concepto de capital circulante.

Respecto al precio del detergente, este varia actualmente desde 1,4 € por kilogramo y 3,67€ por kilogramo, este precio es de venta al público, por lo que suponiendo que el precio de venta en planta supone un 60% del precio final del producto y estimando un precio de venta del detergente en 1,70 €/kg, precio competitivo para solventar la gran oferta de productos que se encuentran en el mercado, obtenemos un precio de venta en planta

de 1 €/kg.

Además hay que tener en cuenta los costes de los operarios de la planta. Se tratará de funcionar con 15 operarios y un jefe de planta, cada operario tendrá un coste asociado anual de 40.000 €, y el jefe de planta de 50000 €. Añadiendo esto un coste de 650.000 € anuales.

Con los datos expuestos anteriormente se puede comenzar el análisis económico de la planta. En primer lugar hay que obtener los ingresos anuales debido al funcionamiento de la planta, con una producción de 115200 toneladas anuales a un precio de 1 € cada kilogramo obtenemos 115.200.000 € anuales debido a la venta de producto. Por otro lado habría que tener en cuenta las amortizaciones de los equipos y edificios, que se amortizarán de forma lineal a lo largo de los 10 años que dura la inversión. Esta amortización se realizará sobre la base de 18.797.942 €, valor de la inversión sin añadir el coste del terreno, no amortizable, y el coste del primer mes de funcionamiento. Por otro lado se ha de tener en cuenta el impuesto de sociedades, cuya tasa impositiva es, actualmente, del 25%. A partir de los datos expuestos se obtiene la tabla X, a partir de la cual se obtendrán los factores a tener en cuenta a la hora de afrontar una inversión mencionados anteriormente.

Año	0	1-10
Ingresos		115.200.000
Gastos	26.021.960	103.350.494
BAI	-26.021.960	11.384.506
Amortización		1.596.234
Impuestos		2.447.068
Flujos de caja	-26.021.960	8.937.438

Tabla 8. Resumen de flujos de caja.

De los datos presentados en la tabla anterior se obtiene una tasa interna de rentabilidad del 32%, un valor actual neto, tomando una tasa de 15 % de 18.832.971 €. Obteniendo un plazo de recuperación de 2 años y 11 meses. Estos valores que se presentan son muy positivos, y hacen que la inversión resulte atractiva para una empresa interesada en invertir en el sector de los detergentes.

4 CONCLUSIONES

En este caso se puede concluir la viabilidad económica de una planta de detergente en polvo, con un VAN cercano a los 11 millones de euros. Esto hace que este producto, a pesar de tener un elevado coste de implantación, sigue siendo muy rentable. Sin embargo esta rentabilidad está sujeta a la completa venta de producto, algo que, con la saturación del mercado de productos de este tipo hacen que no esté asegurado. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, es un mercado con un volumen de consumo muy elevado.

En cuanto al proceso de secado por atomización cabe destacar que aun siendo un método con una inversión elevada, es el único que consigue las características adecuadas para el detergente en polvo, esto es debido a la evaporación del agua interior de las partículas que le confieren una gran porosidad, lo que hace posible la solubilidad de este producto, una característica de gran importancia. Los demás métodos de producción, debido a la baja calidad del polvo obtenido, se mezclan con detergentes obtenidos por spray drying.

Tanto la planta, como el edificio de procesos se han diseñado con espacio para la ampliación. Esto se ha realizado para, en un futuro, tener la posibilidad de introducir una línea de producción de detergentes líquidos, pudiendo incluso, si se hiciera necesario, obviar la torre de secado y los equipos posteriores, para producir exclusivamente detergentes líquidos.

5 ANEXOS

5.1 Plano de implantación.

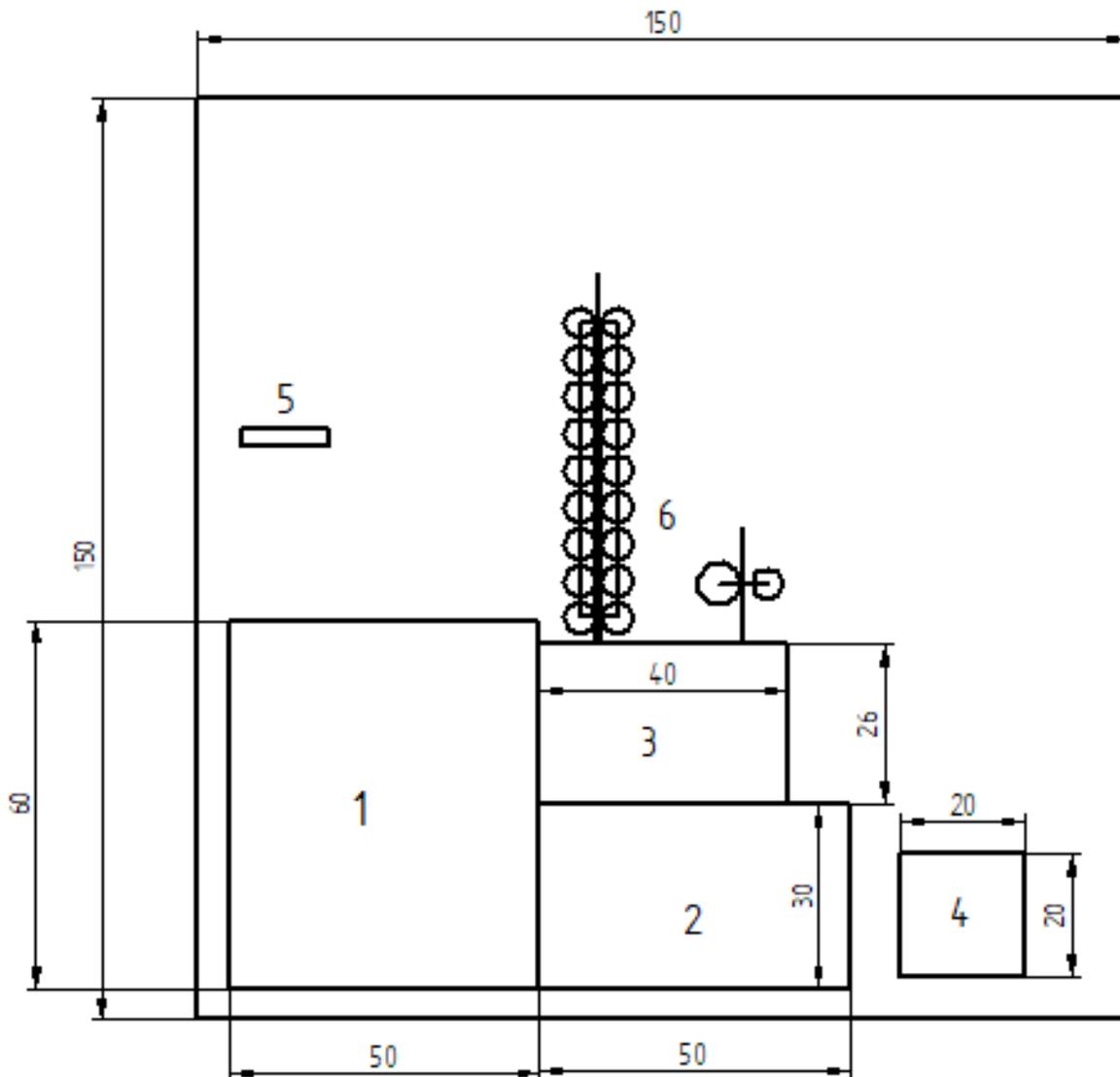


Ilustración 9. Plano general de la planta. Medidas en metros. Leyenda en Tabla 7

1	Almacén de producto
2	Almacén de materias primas no almacenada en silo
3	Edificio de proceso
4	Edificio de oficinas
5	Balanza para camiones
6	Zona de almacenamiento en silos y tanques

Tabla 9. Leyenda de la Ilustración 9

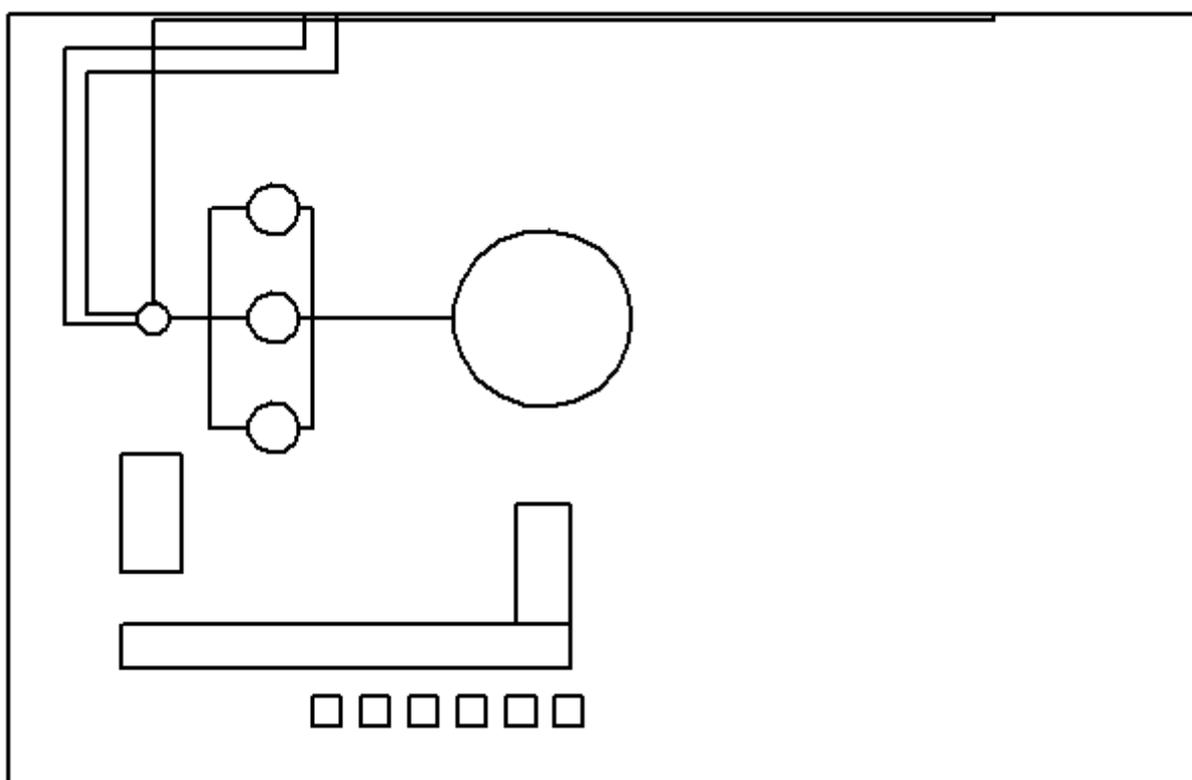


Ilustración 10. Plano interior del edificio de procesos

5.2 Diagrama de proceso en instrumentación

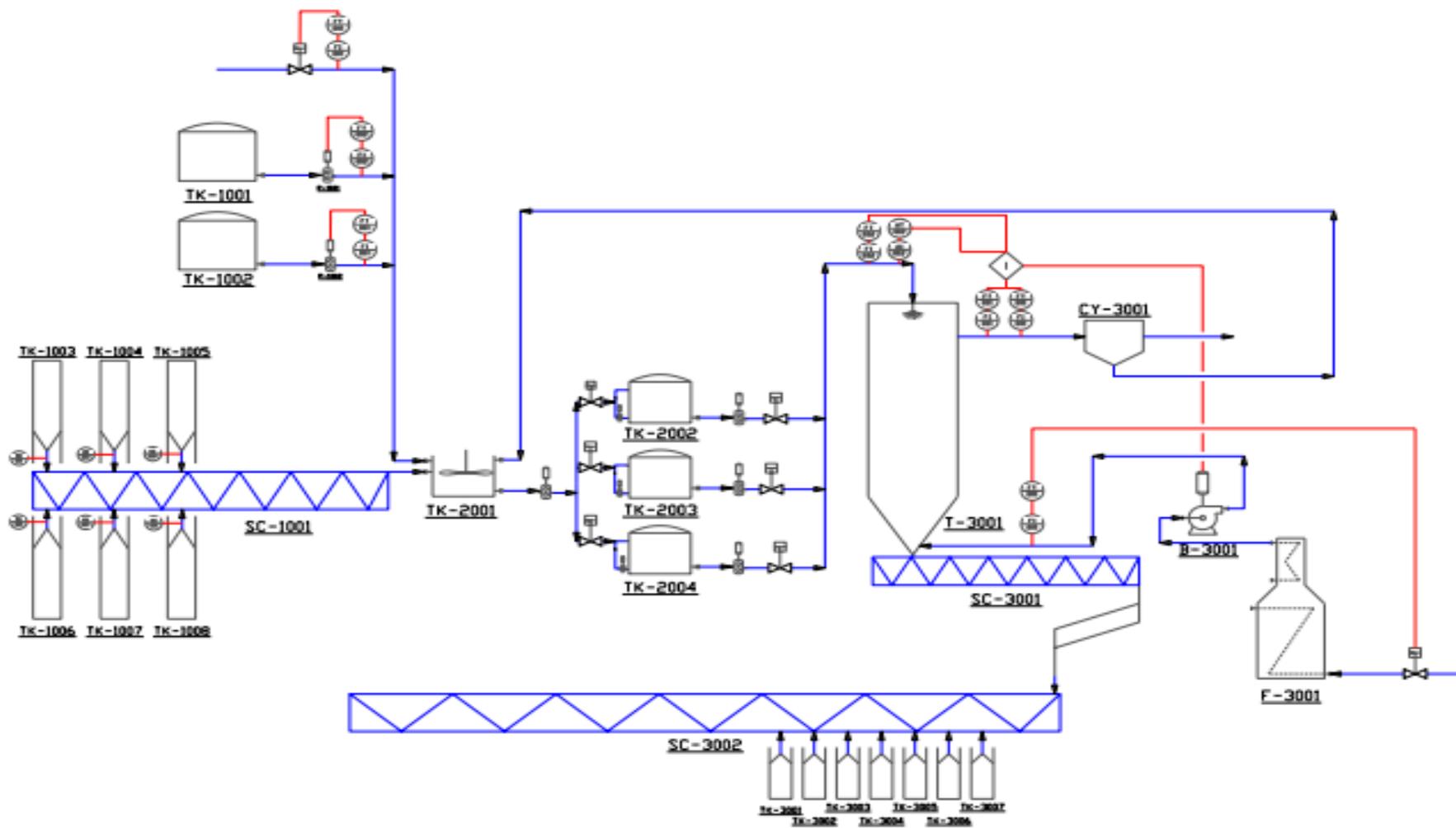


Ilustración 11. Diagrama de proceso e instrumentación.

REFERENCIAS

- [1] [En línea]. Available: <https://www.jabonesbeltran.com/historia-del-jabon.html>.
- [2] [En línea]. Available: <https://www.eleconomista.es/ranking-empresas/noticias/7489380/04/16/Las-empresas-fabricantes-de-jabon-y-detergente-facturan-casi-3000-millones.html>.
- [3] [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/la-composicion-de-los-detergentes-30164.htm>.
- [4] [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/10bit4/preparacin-de-un-jabn>.
- [5] [En línea]. Available: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-10.php>.
- [6] H. A. Wittcoff y B. G. Reuben, «Productos químicos orgánicos industriales. Vol. 2, Tecnología, formulaciones y usos,» 1999.
- [7] R. J. Farn, «Chemistry and technology of surfactants,» 2006.
- [8] M. d. M. S. Peinado, «Efectos biológicos de los sulfonatos de alquilbenceno lineales en suelo agrícola: biotransformación y estudios de biodiversidad,» Universidad de Granada., 2007.
- [9] [En línea]. Available: <http://www.gustato.com/petroleo/lab.html>.
- [10] V. Autores, Handbook of detergents: part A, Nueva York: Marcel Dekker, 1999.
- [11] I. n. d. estadística, «Encuesta anual industrial de productos,» 2008-2018.
- [12] [En línea]. Available: https://www.revistaaral.com/estudios-de-mercado/aumentan-las-ventas-de-detergentes-liquidos-y-en-capsulas-y-de-los-suavizantes-concentrados_379916_102.html.
- [13] [En línea]. Available: https://www.revistaaral.com/estudios-de-mercado/aumentan-las-ventas-de-detergentes-liquidos-y-en-capsulas-y-de-los-suavizantes-concentrados_379916_102.html.
- [14] [En línea]. Available: https://www.revistaaral.com/estudios-de-mercado/aumentan-las-ventas-de-detergentes-liquidos-y-en-capsulas-y-de-los-suavizantes-concentrados_379916_102.html.
- [15] C. química, «Hoja técnica Petresul® 550».
- [16] P. q. M. Riesgo, «Hoja de datos hidróxido sódico escamas».
- [17] F. t. L. e. s. d. sodio, «Hoja técnica SLES».
- [18] G. IQE, «Hoja técnica Zeolita 4A».
- [19] B. d. d. y. p. químicos, «Especificación de venta carbonato sódico denso».

- [20] Quimipur, «Hoja de seguridad silicato de sodio».
- [21] [En línea]. Available: <http://www.fengchengroup.org/chemicals/featured-chemicals/tetra-acetyl-ethylene-diamine-taed-cas-10543.html>.
- [22] S. Merk, «Hoja de datos EDTA».
- [23] Acofarma, «Ficha de datos de seguridad Carboximetilcelulosa sódica».
- [24] Acofarma, «Hoja de datos de seguridad Bórax».
- [25] J.-L. Salager, «Detergentes: componentes, fabricación y fórmulas,» Cuaderno FIRP S332-A, Universidad de los Andes, Merida-Venezuela.
- [26] J. A. Kent, Kent & Riegel's Handbook of industrial chemistry and biotechnology, Springer, 2006.
- [27] V. autores, Handbook of detergents. Part D, Michael S. showell, 2006.
- [28] [En línea]. Available: <http://www.mhhe.com/engcs/chemical/peters/data/ce.html>.
- [29] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/price-for-industrial-sodium-hydroxide.html>.
- [30] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/factory-price-labsa-linear-alkyl-benzene-sulphonic-acid-96-for-degtergent-use-60829342122.html>.
- [31] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/price-sles-70.html>.
- [32] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/zeolite-for-detergents.html>.
- [33] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/price-sodium-carbonate.html>.
- [34] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/sodium-silicate-price.html>.
- [35] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/sodium-sulfate-price.html>.
- [36] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/sodium-borate-price.html>.
- [37] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tetra-acetyl-ethylene-diamine-taed-price-in-washing-products-60189291958.html>.
- [38] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/disodium-edta-price.html>.
- [39] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/g/cmc-powder-price.html>.

