

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Química

Diseño de una planta de producción de aceite de
oliva refinado a partir de aceite de oliva lampante

Autora: Ana Sánchez Torres

Tutora: Custodia Fernández Baco

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

Sevilla, 2020



Proyecto Fin de Carrera

Diseño de una planta de producción de aceite de oliva refinado a partir de aceite de oliva lampante

Autora:

Ana Sánchez Torres

Tutora:

Custodia Fernández Baco

Profesora Colaboradora

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia y amigos, sobre a todo, a mis padres, que me han dedicado todo su tiempo, todo su esfuerzo y todos sus recursos con tal de educarme y formarme lo mejor posible para afrontar la vida. Sin ellos, no hubiera llegado aquí.

También quiero agradecer a la universidad y a los profesores que he tenido, por haberme formado como profesional y como persona.

Resumen

El objetivo del presente proyecto es el diseño de una refinería para una producción de 350 t/día de aceite de oliva refinado a partir de 470 t/día de aceite de oliva lampante, esta producción correspondería a una almazara que procese el fruto de 3.465.880 de hectáreas de olivar.

El trabajo cuenta con un estudio previo sobre el marco legal, para conocer las normas de obligado cumplimiento para poder poner en marcha la planta y con un estudio de mercado donde se ilustra la importancia del tiempo en el precio y los diferentes factores que afectan a éste.

Posteriormente, se realiza el diseño de la planta, detallando las especificaciones de los equipos que la forman. Para finalizar, se realiza un estudio económico, donde se evalúan los gastos de inversión iniciales y los gastos de producción. De esta manera, se establece una estimación sobre las ventas necesarias de aceite de oliva refinado para obtener rentabilidad sobre este proceso.

Abstract

The objective of this project is the design of a refinery for a production of 350 t / day of refined olive oil from 470 t / day of lampante olive oil, this production would correspond to an oil mill that comes from the fruit of 3,465,880 hectares of olive groves.

The work includes a previous study on the legal framework, to know the mandatory regulations to be able to start up the plant and with a market study that illustrates the importance of time in the price and the different factors that affect it.

Subsequently, the design of the plant is carried out, as well as that of its stages with the teams that form it. Finally, an economic study is carried out, to know the initial investment costs and production costs. In this way, an estimate of the necessary sales of refined olive oil is established to obtain profitability from this process.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	x
Índice	xi
Índice de Tablas	xiv
Índice de Figura	xvi
Notación	xix
1. Antecedentes	1
2. Marco legal	9
3. Estudio de mercado	11
3.1. <i>Mercado del aceite de oliva en España</i>	11
3.1.1. <i>Historia del mercado de aceite de oliva en España</i>	12
3.2. <i>En otros países.</i>	13
3.2.1. <i>Diferencia de venta a granel y embotellado.</i>	14
3.3. <i>Estudio económico de los diferentes aceites.</i>	16
3.4. <i>Variación del precio en el tiempo.</i>	19
3.6. <i>Venta a pérdidas.</i>	19
4. Aceite de oliva refinado	21
4.1. <i>Historia del proceso de refinación.</i>	21
4.2. <i>Refinado</i>	21
4.3. <i>Refinación física /Refinación química.</i>	25
5. Objetivos	27
6. Memoria descriptiva	28
6.1. <i>Descripción del proceso industrial.</i>	28
6.2. <i>Acondicionamiento.</i>	28
6.3. <i>Justificación, elección y explicación de alternativa de acondicionamiento.</i>	29
6.4. <i>Decoloración.</i>	30
6.5. <i>Justificación, elección y explicación de alternativa de decoloración.</i>	30
6.6. <i>Desodorización.</i>	31
6.7. <i>Justificación, elección y explicación de alternativa de desodorización.</i>	33
6.8. <i>Elección de equipos y base de funcionamiento.</i>	34
6.9. <i>Depósito de recepción, D001.</i>	34
6.10. <i>Bombas de impulsión.[14]</i>	35
6.11. <i>Válvulas.[16]</i>	36

6.12.	<i>Válvula de bypass.</i>	36
6.13.	<i>Válvulas de bola.[17]</i>	37
6.14.	<i>Válvulas de mariposa.[18]</i>	38
6.15.	<i>Tolvas.</i>	39
6.16.	<i>Tolvas de recepción.</i>	40
6.17.	<i>Tolvas de pesaje.</i>	40
6.18.	<i>Tolvas de salida.</i>	40
6.19.	<i>Silo de tierras.</i>	41
6.20.	<i>Mezclador con agitador.</i>	42
6.21.	<i>Tomillo sin fin.[22]</i>	43
6.22.	<i>Decoloradora.</i>	45
6.23.	<i>Intercambiador de calor.[24]</i>	45
6.24.	<i>Filtro.[25]</i>	46
6.25.	<i>Desgasificador.</i>	47
6.26.	<i>Desodorizador.</i>	48
6.27.	<i>Controladores.</i>	49
7	Memoria de cálculos	51
7.1.	<i>Producción de aceite de oliva refinado a partir de aceite de oliva lampante.</i>	51
7.2.	<i>Balances de materia y energía.</i>	57
7.2.1.	<i>Balances en la etapa de acondicionamiento.</i>	57
7.2.1.	<i>Balances en la etapa de decoloración.</i>	58
7.2.1.1.	<i>Fundamentos del proceso de adsorción de tierras decolorantes.</i>	59
7.2.2.	<i>Balances en la etapa de desodorización.</i>	61
7.2.2.1.	<i>Balances en el intercambiado de calor entre aceite caliente y aceite frío, desaireador, intercambiador de calor entre aceite y vapor e intercambiador de calor entre aceite y agua de refrigeración.</i>	62
7.2.2.2.	<i>Balances en el desodorizador.</i>	63
7.2.3.	<i>Resultado obtenidos.</i>	64
8.	Diseño de equipos	69
8.1.	<i>Intercambiadores de calor.</i>	69
8.2.	<i>Potencias de Intercambiadores de calor.</i>	69
8.3.	<i>Áreas de transferencia de Intercambiadores de calor.</i>	70
8.4.	<i>Elección de tipo de intercambiador comercial y justificación.</i>	73
8.5.	<i>Bombas de impulsión de engranajes.</i>	75
8.6.	<i>Estimación de punto de funcionamiento de las bombas.</i>	75
8.7.	<i>Elección del tipo de bomba comercial y justificación.</i>	79
8.8.	<i>Válvulas.</i>	81
8.9.	<i>Elección del tipo de válvulas de mariposa comercial y justificación.</i>	81
8.10.	<i>Elección del tipo de válvulas de bypass comercial y justificación.</i>	82
8.11.	<i>Elección del tipo de válvulas de bola y justificación.</i>	83
8.12.	<i>Tolvas.</i>	85
8.13.	<i>Elección de tolva de recepción.</i>	85
8.14.	<i>Elección de tolva de pesaje.</i>	86
8.15.	<i>Silo, elección y justificación.</i>	87
8.16.	<i>Tomillo sin fin, elección y justificación.</i>	89
8.17.	<i>Depósitos, elección y justificación.</i>	91
8.18.	<i>Mezclador agitador, elección y justificación.</i>	92
8.19.	<i>Desgasificador, elección y justificación.</i>	94
8.20.	<i>Desodorizador, elección y justificación.</i>	96
8.21.	<i>Filtro, elección y justificación.</i>	97

9. Análisis económico	99
9.1. <i>Coste total de inversión.[34]</i>	99
9.2. <i>Coste de intercambiadores.</i>	101
9.3. <i>Coste de bombas.</i>	102
9.4. <i>Coste de tolvas.</i>	104
9.5. <i>Coste de depósitos.</i>	105
9.6. <i>Coste de válvulas.</i>	106
9.7. <i>Coste del resto de equipos.</i>	107
9.8. <i>Cálculos de costes para la inversión.</i>	109
9.9. <i>Costes totales de producción.</i>	109
9.10. <i>Cálculo de costes variables.</i>	110
9.11. <i>Cálculo de costes fijos.</i>	111
9.12. <i>Cálculo de generales.</i>	112
9.13. <i>Resultados de los cálculos totales de producción.</i>	112
9.14. <i>Costes total de la refinería de aceite.</i>	113
9.15. <i>Rentabilidad de la planta.</i>	114
Referencias	117
Glosario	120
Anexo I	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Porcentajes de los ácidos constituyentes del aceite.	2
Tabla 1-2. Porcentajes de la trioleína.	3
Tabla 1-3. Parámetros principales del aceite de oliva virgen extra.	7
Tabla 3-1. Tabla con datos de los precios adjuntos.	18
Tabla 4-1. Propiedades del aceite de oliva refinado.	25
Tabla 7-1. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.	65
Tabla 7-2. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.	65
Tabla 7-3. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.	66
Tabla 7-4. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.	66
Tabla 7-5. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.	67
Tabla 8-1. Hoja de especificaciones de detalle de los intercambiadores.	74
Tabla 8-2. Datos característicos de la bomba B001.	77
Tabla 8-3. Datos característicos de la bomba B002.	77
Tabla 8-4. Datos característicos de la bomba B003.	78
Tabla 8-5. Datos característicos de la bomba B004.	78
Tabla 8-6. Datos característicos de las bombas B005 y B006.	79
Tabla 8-7. Datos característicos de la bomba B007.	79
Tabla 8-8. Hoja de especificaciones de las bombas.	80
Tabla 8-9. Hoja de especificaciones de las válvulas de mariposa.	81
Tabla 8-10. Hoja de especificaciones de las válvulas de aguja.	82
Tabla 8-11. Hoja de especificaciones de las válvulas de bola.	84
Tabla 8-12. Hoja de especificaciones de las tolvas de recepción.	86
Tabla 8-13. Hoja de especificaciones de las tolvas de pesaje.	87
Tabla 8-14. Hoja de especificaciones del silo industrial.	88
Tabla 8-15. Hoja de especificaciones del transportador del tornillo sin fin.	89
Tabla 8-16. Hoja de especificaciones del depósito de almacenaje.	92
Tabla 8-17. Hoja de especificaciones del agitador industrial.	93
Tabla 8-18. Hoja de especificaciones del desgasificador.	95
Tabla 8-19. Hoja de especificaciones del desodorizador.	97
Tabla 8-20. Hoja de especificaciones del filtro automático autolimpiable.	98
Tabla 9-1. Costes de intercambiadores de calor.	102
Tabla 9-2. Costes de bombas.	104
Tabla 9-3. Costes de tolvas.	105
Tabla 9-4. Costes de depósitos.	106

Figura 9-5. Costes de válvulas.	107
Figura 9-6. Costes de equipos restantes.	108
Tabla 9-7. Desglose de costes totales de inversion.	109
Tabla 9-8. Datos de la gestión de tierras.	112
Tabla 9-9. Desglose de costes totales de producción.	113
Tabla 9-10. Datos de producción de aceite de oliva refinado.	113
Tabla 9-11. Desglose de flujos de cajas operacionales.	114

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1-1. Aceite de Oliva.	1
Figura 1-2. Composición del aceite.	2
Figura 1-3. Clasificación jerárquica de los diferentes aceites y procesos.	5
Figura 1-4. Origen del aceite de oliva virgen extra.	6
Figura 1-5. Clasificación de los diferentes tipos de aceites.	8
Figura3-1. Clasificación de los diferentes aceites.	11
Figura3-2. Ocupación de olivos en Andalucía.	12
Figura3-3. Paisaje de tierras de Jaén.	12
Figura 3-4. Producción de aceite de oliva en España.	13
Figura 3-5. Exportaciones de aceite de oliva desde España.	14
Figura 3-6. Diferencias de venta a granel respecto a embotellado.	15
Figura 3-7. Producción de aceite de oliva en las principales potencias.	16
Figura 3-8. Productos finales como aceites consumibles.	17
Figura 3-9. Representación gráfica de los precios de los diferentes aceites.	18
Figura 3-10. Variación del precio del aceite de oliva a lo largo del tiempo.	19
Figura 4-1. Embasado de aceite en una almazara.	22
Figura 4-2. Aceite de oliva refinado embotellado.	23
Figura 4-3. Esquema de la obtención de los diferentes tipos de aceites.	23
Figura 4-4. Proceso de refinación química y física.	24
Figura 5-1. Esquema de materias primas y productos del proceso de refinación.	27
Figura 6-1. Fases del proceso de refinación física del aceite de oliva lampante.	28
Figura 6-2. Acondicionamiento mediante tren de centrifugadoras en serie.	29
Figura 6-3. Torre de relleno.	32
Figura 6-4. Columna de platos.	32
Figura 6-5. Columna en bandejas.	33
Figura 6-6. Depósito industrial de almacenamiento.	35
Figura 6-7. Bomba de engranajes.	36
Figura 6-8. Válvula de aguja.	37
Figura 6-9. Válvula de bola.	37
Figura 6-10. Válvula de bola y sus partes.	38
Figura 6-11. Funcionamiento válvula de mariposa.	39
Figura 6-12. Válvula de mariposa.	39
Figura 6-13. Conjunto en serie de tolvas industriales.	40
Figura 6-14. Partes de un silo industrial.	41

Figura 6-15. Mezclador con agitador y sus partes.	43
Figura 6-16. Transportador de tornillo sin fin.	44
Figura 6-17. Intercambiador de calor de carcasa y tubo.	45
Figura 6-18. Funcionamiento de un intercambiador de carcasa y tubo.	46
Figura 6-19. Filtro automático autolimpiable.	47
Figura 6-20. Funcionamiento filtro automático.	47
Figura 6-21. Desgasificador.	48
Figura 6-22. Desodorizador industrial.	49
Figura 6-23. Sistema de control en lazo cerrado.	50
Figura 6-24. Control utilizado en los intercambiadores.	50
Figura 7-1. Diagrama de procesos para producir 350 t/día de aceite de oliva refinado.	54
Figura 7-2. Etapa de decoloración del aceite.	58
Figura 7-3. Tierra de batán aplicada a la decoloración.	59
Figura 7-4. Fenómeno de adsorción.	59
Figura 7-5. Curvas de decoloración para diferentes valores de K y n.	60
Figura 7-6. Parte de proceso de desodorización.	61
Figura 7-7. Columna con bandejas para la desodorización.	62
Figura 8-1. Representación de la orientación de los fluidos en el intercambiador.	63
Figura 8-2. Representación de la ecuación de Bemouilli en tubería.	71
Figura 8-3. Curva característica de las bombas.	75
Figura 8-4. Datos y dimensiones de la hoja de especificaciones del catálogo del fabricante de las válvulas de mariposa.	75
Figura 8-5. Datos y dimensiones de la hoja de especificaciones del catálogo del fabricante de las válvulas de bola.	83
Figura 8-6. Datos de especificaciones del fabricante del silo.	85
Figura 8-7. Datos de diseño aportados por el fabricante del transportador del tornillo sin fin.	89
Figura 8-8. Partes y dimensiones del agitador industrial del catálogo.	91
Figura 8-9. Datos y dimensiones de la hoja de especificaciones del desgasificador.	94
Figura 8-10. Dimensiones de una columna con bandejas en proporción al caudal.	96
Figura 9-1. Clasificación de costes fijos de inversión.	96
Figura 9-2. Desglose de los costes totales de producción.	99
Figura 9-3. Desglose de costes totales de la refinería.	110
Figura 9-20. Gráfica representativa del VAN y TIR.	115

Notación

t	toneladas
h	horas
kg	kilogramos
L	litros
AOVE	Aceite de oliva virgen extra
DTLM	Media logarítmica de la diferencia de temperaturas
K232	Índice de aceite para longitud de onda ultravioleta de 232 nm
K270	Índice de aceite para longitud de onda ultravioleta de 270 nm
kW	Kilovatios
J	Julios
P	Potencia
M	Caudal específico
Cp	Calor específico
ΔT	Diferencia de temperaturas
H_{fg}	Entalpía
A	Área
V	Volumen
U	Coefficiente global de transferencia

1. ANTECEDENTES

En este proyecto se realiza un estudio de la elaboración del refino del aceite de oliva. Fundamentalmente, el proyecto está centrado en la refinación física con la ausencia de la refinación química previa constituyente al proceso global. Para ello, se realiza una introducción del mundo del aceite, explicando la jerarquía y clasificación de los diferentes tipos de aceite de oliva para entender en qué situación nos encontramos, así como el marco legal y estudio de mercado. Finalmente, para llevar a cabo los cálculos, se han tenido en cuenta que el aceite que llega a la refinería es un aceite de oliva lampante que se encuentra en condiciones para su entrada directa a dicha refinación física, que consta de las etapas de acondicionamiento, decoloración y desodoración.

1.1. Introducción.

El aceite se puede definir como una sustancia grasa de origen mineral, vegetal ó animal, líquida, insoluble en agua, combustible, y generalmente menos densa que el agua, que está constituida por ésteres de ácidos grasos ó por hidrocarburos derivados del petróleo.



Figura 1-1. Aceite de Oliva.

El aceite de oliva, más en concreto, es un aceite obtenido mediante un prensado de la aceituna y se emplea principalmente como condimento. Es el alimento más emblemático de la dieta mediterránea, también se trata de un alimento conocido por la cantidad de beneficios para la salud frente a enfermedades cardiovasculares. El aceite de oliva virgen es un producto 100% natural con excelentes características organolépticas, olor, color y sabor. [1]

1.2. Composición del aceite de oliva. [2]

El aceite de oliva es un alimento altamente energético, esto es debido a que aporta aproximadamente 9 kcal/g. Está formado por 2 partes fundamentalmente, una primera parte es la fracción mayoritaria, que es la parte propiamente grasa. Por otra parte, se encuentra una fracción menor que supone entre 1-2% (Figura 1-2).



Figura 1-2. Composición del aceite.

▪ **La fracción mayoritaria:** conocida como fracción saponificable, suele situarse entorno al 98% de la composición del AOVE, conocido como “Aceite de oliva virgen extra”. Esta fracción comprende:

- Ácidos grasos.

Hay distintos tipos de ácidos grasos en distinta cantidad. En su mayoría, alrededor de un 77%, son ácidos grasos monoinsaturados, o lo que como se conoce como “grasas buenas” porque ayudan a cuidar el corazón. Sólo un 16% son ácidos grasos saturados y un 6% aproximadamente, ácidos grasos poliinsaturados. Esta composición varía según el tipo de aceite, según su procedencia y método de obtención. El más destacado entre los ácidos del aceite de oliva es el ácido monoinsaturado, en concreto, el ácido oléico.

Este ácido tiene un papel fundamental en la protección de la salud porque es el que mayor peso tiene en el aceite. Tanto su porcentaje como el del resto de ácidos restantes están regidos por el “Consejo Oleícola Internacional” que fija unos límites estrictos (Tabla 1-1).

Ácido oleico	55-83%
Ácido linoleico	3,5-21%
Ácido palmítico	7,5-20%
Ácido esteárico	0,5-5%
Ácido palmitoleico	0,3-3,5%
Ácido linolenico	0-1,5%

Tabla 1-1. Porcentajes de los ácidos constituyentes del aceite.

- Triglicéridos

Los triglicéridos constituyen la mayor parte de la fracción saponificable del aceite. Son el resultado de la unión de las moléculas de los ácidos grasos con trialcohol glicerina.

En el aceite de oliva predomina una combinación de compuestos llamada trioleína, formada por glicerol y tres moléculas de ácido oleico. Le siguen la combinación de una molécula de ácido palmítico y dos de ácido oleico y las de dos moléculas de ácido oleico con una de ácido palmítico. Tabla 1-2.

Glicerol + 3 ácido oleico	62%
Ácido palmítico + 2 ácido oleico	30%
2 ácido oleico+ ácido palmítico	4%

Tabla 1-2. Porcentajes de la trioleína.

- Mono y diglicéridos.

Es el tercer apartado de la fracción saponificable, mucho menor que los anteriores. En líneas generales, en un aceite de oliva virgen extra el porcentaje de diglicéridos oscila entre el 1 y el 2,8%, mientras que el de los monoglicéridos apenas alcanza el 0,25%. En cualquier caso, siempre hay que tener muy presente que en la composición química del aceite de oliva virgen extra entran en juego muchas variables, desde el tipo de aceituna, hasta la región geográfica, el método de elaboración o incluso las condiciones de almacenamiento.

- Ácidos grasos libres.

Son ácidos grasos que tienen un grupo ácido pero que no están unidos a un alcohol.

- **La fracción minoritaria:** comprende un 2% del peso del aceite de oliva. Aunque en peso supone una parte pequeña parte de la composición, podemos decir que incluye una gran variedad de compuestos químicos. Es extremadamente difícil determinar de forma precisa la totalidad de los constituyentes menores, debido a su naturaleza compleja y a su baja concentración, además, algunos de los constituyentes menores solo están presentes en el aceite crudo, y el procesado tecnológico como la refinación los elimina, como es el caso de los compuestos fenólicos.

Las diversas clases de constituyentes menores pueden dividirse en dos grupos. El primer grupo consta de derivados de ácidos de grasos:

- Fosfolípidos.
- Ceras.
- Ésteres de esteroides.

El segundo grupo incluye clases de compuestos que no están químicamente relacionados con los ácidos grasos:

- Hidrocarburos.
- Alcoholes alifáticos.
- Esteroides libres.
- Tocoferoles.
- Clorofilas.
- Carotenoides.
- Compuestos fenólicos.

1.3. Clasificación de aceites.

Existen diferentes tipos de aceite de oliva y calidad. Cada uno se caracteriza por diferentes propiedades como se comenta a continuación. Los diferentes tipos de productos de aceite resultantes que se comercializan, como se observa en la figura 1-4, son el aceite de oliva virgen extra, el aceite de oliva virgen, el aceite de oliva y el aceite de orujo. Antes de entrar en profundidad, en los diferentes aceites, hay que identificar los diferentes procesos por los que el aceite es sometido, así como lugar de procedimiento (Figura 1-3).[3]

Los lugares donde se producen los procesos son:

- Almazara: lugar donde se procesa la aceituna para obtener el aceite. Hay diferentes tipos de almazaras: almazara particular, se trata de una almazara que pertenece a una sola persona o a una familia. Por otra parte, la almazara cooperativa, este modelo de almazara se trata de varios socios que se unen y crean una cooperativa para moler sus aceitunas y elaborar su propio aceite de oliva virgen. Las cooperativas son de gran importancia en España, y a que es un modelo muy extendido.
- Orujera: industria en la que se extrae el aceite que todavía queda en el orujo de aceituna. Se obtiene aceite crudo de orujo, siendo el orujo el residuo sólido obtenido como subproducto en la elaboración de aceite de oliva virgen.
- Refinería: planta industrial dedicada a la refinación del aceite, cuyo objetivo es obtener productos de mayor valor agregado que se comercializan en el mercado.

Los procesos que tienen lugar en la almazara, refinería y orujera son:

- Extracción: es el primer proceso que tiene lugar y ocurre tanto en la almazara como en la orujera. Una vez está la aceituna está molida, el aceite se extrae. El método más recomendable para la extracción es la centrifugación, donde la pasta es sometida a la acción de la fuerza centrífuga que provoca la separación de los distintos componentes por diferencia de densidades de ellos. Por ello, como se observa en la figura 1-3, se trata de una extracción de tres fases: aceite, orujo y alpechín. Es en esta operación donde se separa el aceite de los demás componentes: el orujo (restos de carozo y pulpa) y el alpechín (agua y restos de aceite). Esta operación se realiza en centrifugación vertical, obteniendo así el aceite virgen extra por un lado, el cual pasa directamente para su almacenado, y dos residuos diferentes:
 - Residuo sólido denominado “orujo”.
 - Residuo líquido denominado “alpechín”.
- Refino: El proceso de refino realizado en la refinería, tiene por finalidad mejorar su apariencia, olor, sabor, entre otras propiedades del aceite vegetal, removiendo componentes que perjudican su calidad. Las etapas del proceso dependen de la calidad del aceite bruto disponible y de la aplicación deseada para el aceite final.[4]

La materia prima es la aceituna y los productos comerciales son:

- Virgen de oliva virgen extra.
- Aceite de oliva virgen.
- Aceite de oliva.
- Aceite de orujo de oliva.

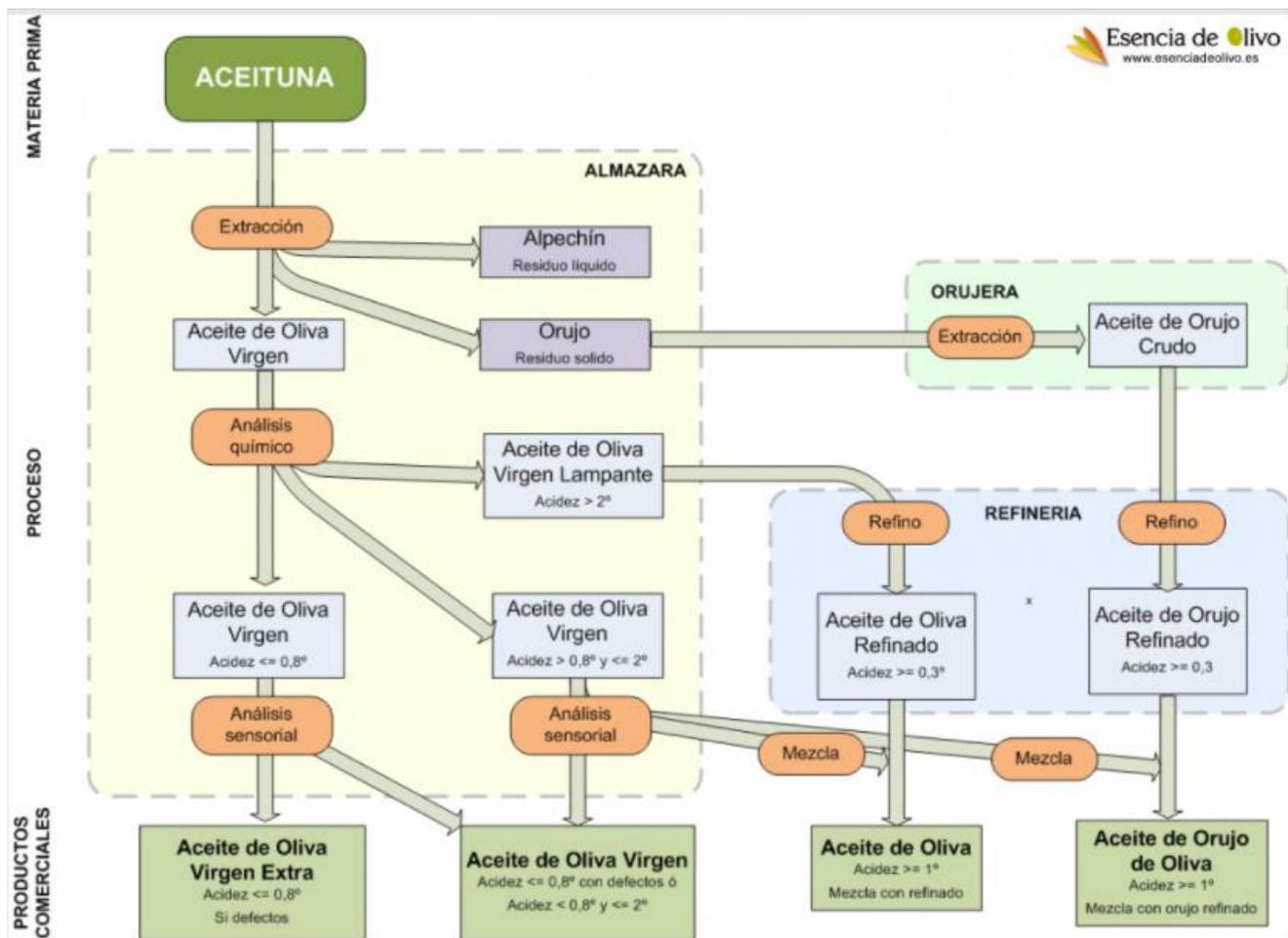


Figura 1-3. Clasificación jerárquica de los diferentes aceites y procesos.

Una vez que las aceitunas llegan a las almazaras, existen dos aceites claramente diferenciados. A la izquierda se encuentran los aceites de oliva vírgenes y a la derecha, el aceite de orujo. Ambos son aceites de oliva procedentes del fruto del olivo. Sin embargo, los aceites de oliva son la familia de aceites más naturales. Son como un zumo de naranja, exprimidos sin pasar por ningún producto químico para su obtención. Todos estos aceites son elaborados en las almazaras y son tres tipos según su calidad, de mayor a menor:

- Aceite de Oliva Virgen Extra [1]

Se trata del aceite de mayor calidad. Se obtiene cuando se siguen las normas más estrictas en el tratamiento del fruto y la elaboración del aceite: la aceituna recogida en el momento óptimo de madurez, sin que sufra heridas, se transporta rápidamente a la almazara y se elabora el aceite en las condiciones controladas y adecuadas, por medios totalmente mecánicos o físicos y a bajas temperaturas. Este aceite es 100% jugo de aceituna y conserva inalterable todo su contenido en antioxidantes y otros componentes saludables, así como todo su aroma y sabor. Es el “jugo de aceituna” de mayor calidad con un límite de acidez en 0,8% y se consume directamente. Tiene un sabor picante y amargo, y un aroma afrutado. El aceite de oliva se clasifica midiendo sus parámetros físico-químicos y las características organolépticas, de color, sabor y olor.



Figura 1-4. Origen del aceite de oliva virgen extra.

Los parámetros que definen el aceite de oliva virgen extra son los siguientes como se recogen en la siguiente tabla 1-3:

- Acidez: la acidez es el principal indicador de calidad de los aceites de oliva vírgenes extra. La acidez mide la cantidad de ácidos grasos libres que hay en el aceite. Cuanto menor sea la acidez de un virgen extra, mejor, ya que una baja acidez indica que el aceite ha sido elaborado con aceituna sana y fresca. El cálculo del porcentaje de acidez se calcula en el laboratorio mediante una prueba específica.
- Índice de peróxidos: el índice de peróxidos mide el estado de oxidación inicial de un aceite. Se expresa en miliequivalentes de oxígeno activo por kilo de grasa. Los peróxidos ó compuestos de oxidación inicial, se originan si la aceituna se maltrata, si el aceite no se protege de la luz y el calor, o no se guardan en envases adecuados, como consecuencia de ello, a mayor índice de peróxidos menor será la capacidad antioxidante de un aceite.
- Ésteres etílicos: los ésteres etílicos se producen por la reacción de los ácidos grasos libres y el etanol que, a su vez, proviene de la fermentación etílica de los hidratos de carbono de la aceituna, por ello cuanto peor es el estado del fruto, mayor es el índice de estos. El patrón de medida es tomado en mg/Kg siendo el límite actual de 35 mg/kg, aunque en un AOVE, “Aceite de oliva virgen extra”, es muy raro superar los 30 mg/kg.
- K232 y K270: son índices del aceite obtenido tras la transmisión de luz ultravioleta a través de una solución de aceite en un disolvente inerte que mide longitudes de onda establecidas de 232 nm y 270 nm. Esto se realiza porque los productos de oxidación de los aceites (aldehídos, cetonas, trienos conjugados, etc) absorben la luz ultravioleta a determinadas longitudes de onda. El K232 se utiliza para ver la presencia de hidroperóxidos (ver índice de peróxidos) y dienos conjugados. Dicho de otra forma, se hace una estimación de la oxidación inicial del aceite. El K270 se utiliza para detectar la presencia de productos de oxidación secundaria. Los productos de la oxidación inicial evolucionan a aldehídos, cetonas, ...etc. A esta longitud de onda también absorben productos que se forman en la refinación de los aceites. Valores altos de K232 Y K270 son sinónimos de aceites de mala calidad. Sin embargo, la acidez podría ser baja. Puede darse la circunstancia de un aceite con un índice de peróxidos bajo y un K270 muy alto, lo que significa que la oxidación secundaria se ha consumado.

Parámetros	Límites legales UE	Límites legales US
Acidez (%)	≤ 0,8	≤ 0,8
Índice de peróxidos (meq02/Kg)	≤ 20	≤ 20
Ésteres etílicos (mg/kg)	≤ 35	
K232	≤ 2,50	≤ 2,50
K270	≤ 0,22	≤ 0,22

Tabla 1-3. Parámetros principales del aceite de oliva virgen extra.

- Aceite de oliva virgen: se diferencia con el aceite de oliva virgen extra en su sabor, textura, olor y color. Según el Reglamento CE 1019/ 2002 artículo 3, este tipo de aceite es obtenido únicamente mediante la aceituna y por procedimientos mecánicos. Es importante destacar que se mantiene como un zumo de aceituna, donde se mantienen todas sus propiedades sin conservantes ni aditivos. Su acidez tiene que ser inferior a 2%. Dentro de este tipo de aceite se pueden subdividir 2 tipos:
 - Aceite de oliva virgen corriente: se trata de buen gusto y con una acidez no superior a 3,3°
 - Aceite de oliva virgen lampante: se trata de gusto defectuoso y con una acidez superior a 3,3°.
- Aceite de oliva lampante: El aceite de oliva lampante ha sido tradicionalmente el aceite de oliva de peor calidad. Los aceites lampantes tienen mucha acidez, y un sabor y un olor muy desagradable que impide su consumo. De hecho, el nombre tradicional de lampante viene de su uso como combustible en las lámparas de aceite. Según la legislación actual, un aceite de oliva virgen es lampante cuando no cumple con alguno de los requisitos para ser aceite de oliva virgen. Por ello será lampante cuando cumpla alguna de estas características:
 - Su acidez es mayor que 2°.
 - La mediana de los defectos es mayor que 2,5.
 - La mediana del frutado es igual a cero.

Es un aceite de sabor y olor desagradable, y mucha acidez. En algunas ocasiones de colores diferentes al verde y dorado típicos de los aceites de oliva virgen y virgen extra. Suelen proceder de aceitunas en mal estado debido a plagas importantes, heladas, y que llevan mucho tiempo caídas en el suelo sin recoger. Al igual que las otras dos categorías de aceites de oliva vírgenes, la legislación incluye otros parámetros químicos para evitar fraudes entre los productores y refinadores. Dadas las pobres características de este aceite está prohibida su comercialización. Para su consumo es necesario refinarlo.
- Aceite de oliva refinado: Es el obtenido por refinación de aceites de oliva vírgenes y con acidez no superior a 0,5°, mediante técnicas de refinado que no producen alteración en la estructura glicéridica inicial. Se refina a partir del aceite de oliva lampante reduciendo la acidez mediante el proceso de refinación, así como neutralizando su sabor.
- Aceite de oliva: se trata de un aceite que se obtiene tras el proceso de refinado del aceite y no llega a alcanzar las cualidades del aceite virgen ó virgen extra. Debido a esto, tiene menor calidad que los otros 2 anteriores además para su elaboración incluye la mezcla de aceites vírgenes y refinados, se trata de un aceite de composición.
- Aceite de orujo de oliva: El orujo de oliva se trata del residuo sólido que se obtiene en la

2. MARCO LEGAL

En este capítulo se desarrolla el marco legal bajo el que se encuentra este producto agroalimentario y los organismos que participan. Ningún proyecto se puede llevar a cabo sin tener en cuenta la legislación y normas de obligado cumplimiento, por tanto, este capítulo es de vital importancia para el desarrollo de la producción del aceite de oliva.[5]

2.1. Normas de comercialización.

La comercialización del aceite de oliva según la Unión Europea está bajo normativa. Estas normas de comercialización tienen como objetivo el abastecimiento del mercado con productos agrícolas de calidad normalizada y satisfactorias para responder correctamente a las expectativas de los consumidores, así como facilitar el comercio y garantizar competencias equitativas. Bajo este marco jurídico, los países de la Unión Europea tienen que realizar anualmente un número determinado de controles como mínimo, en función del volumen de aceite de oliva comercializado en su territorio, para garantizar el respeto de las normas de comercialización de estos aceites. Se trata de los controles de conformidad, que consisten en comprobar que el etiquetado y el envasado cumplen los requisitos legales y que la categoría del aceite se ajusta a la categoría declarada. También hay que realizar controles de etiquetado, este tipo de controles garantizan que la denominación o el nombre comercial con los que el aceite puede venderse al consumidor se ajustan a las normas específicas establecidas en el Reglamento (UE) n.º 1308/2013 y en el Reglamento de Ejecución (UE) n.º 29/2012.

Las normas relativas a los requisitos de etiquetado opcionales se refieren, por ejemplo, a la indicación «primera presión en frío», «extracción en frío», a propiedades organolépticas que hacen referencia al sabor y/o al olor de aceites de oliva vírgenes extra y aceites de oliva vírgenes, y a la campaña de cosecha (Reglamento de Ejecución (UE) n.º 29/2012).

El Reglamento (CEE) n.º 2568/91 de la Comisión establece las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva, así como los métodos de análisis pertinentes. Establece los límites de los parámetros de calidad y pureza de cada una de las categorías de aceite de oliva y de aceite de orujo de oliva. También define los métodos de análisis que deben utilizarse para evaluar la conformidad del aceite con su categoría declarada. Los controles de conformidad efectuados por las autoridades nacionales competentes permiten comprobar si se cumplen dichas características. El Reglamento establece normas y métodos para tomar muestras de los productos y determinar los parámetros de calidad y pureza. Los paneles de catadores autorizados por los países de la UE deben comprobar las características organolépticas de los aceites de oliva vírgenes.

2.2. Organizaciones internacionales.

- Consejo Oleico Internacional.

El Consejo Oleico Internacional es una organización intergubernamental de estados que producen aceitunas u otros productos derivados de la aceituna, como el aceite de oliva. Esta organización fue creada en Madrid (España) en 1959.[6]

Entre sus miembros actuales figuran los principales productores y exportadores internacionales de aceite de oliva y de aceitunas de mesa. Los miembros del COI representan el 94 % de la producción olivarera mundial y la UE representa casi el 72 %.

- Codex Alimentarius.

El Codex Alimentarius, o “Código Alimentario”, es un conjunto de normas, directrices y códigos de prácticas aprobados por la Comisión del Codex Alimentarius. La Comisión, conocida también como CAC, constituye el elemento central del Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias y fue establecida por la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) con la finalidad de proteger la salud de los consumidores y promover prácticas leales en el comercio alimentario. La Comisión celebró su primer período de sesiones en 1963.

El Codex Alimentarius es una colección de normas alimentarias y textos afines aceptados internacionalmente y presentados de modo uniforme. El objeto de estas normas alimentarias y textos afines es proteger la salud del consumidor y asegurar la aplicación de prácticas equitativas en el comercio de alimentos. La finalidad de su publicación es que oriente y fomente la elaboración y el establecimiento de definiciones y requisitos aplicables a los alimentos para favorecer su armonización y, de esta forma, facilitar el comercio internacional.

2.3. Legislación sobre el aceite de oliva.

Las bases jurídicas comprenden la legislación relativa a las normas de comercialización del aceite de oliva, las características de los aceites de oliva y los aceites de orujo de oliva, las organizaciones de productores, los programas de ayuda, el almacenamiento privado y la notificación de precios.

- Normas de comercialización.

Las normas de comercialización son las siguientes:

- Reglamento (UE) n°. 1308/2013 sobre la organización común de mercados de los productos agrarios.
- Reglamento de Ejecución (UE) n°. 29/2012 sobre las normas de comercialización del aceite de oliva. Este Reglamento establece, en particular, normas sobre el envasado y el etiquetado del aceite de oliva.
- Reglamento (CEE) n°. 2568/91 de la Comisión sobre las características específicas aplicables a cada categoría. La comprobación del cumplimiento de esas características debe determinarse mediante métodos de análisis específicos. Este Reglamento también define los requisitos de control para las autoridades de control de los Estados miembros.

3. ESTUDIO DE MERCADO

En este capítulo se desarrolla el estudio de mercado del aceite de oliva. Para ello, se detalla el mercado de aceite de oliva, así como su producción tanto en España como en otros países. Se realiza un análisis de la influencia del tiempo en el precio del aceite y como consecuencia se ve como la comercialización se ve afectada por otros factores de gran influencia como son la diferencia de venta a granel o embotallado y la venta a pérdidas que suponen grandes problemas. [7]

3.1. Mercado del aceite de oliva en España

En la actualidad se encuentran los diferentes tipos de aceites nombrados anteriormente, en el mercado. (Figura 3-1).

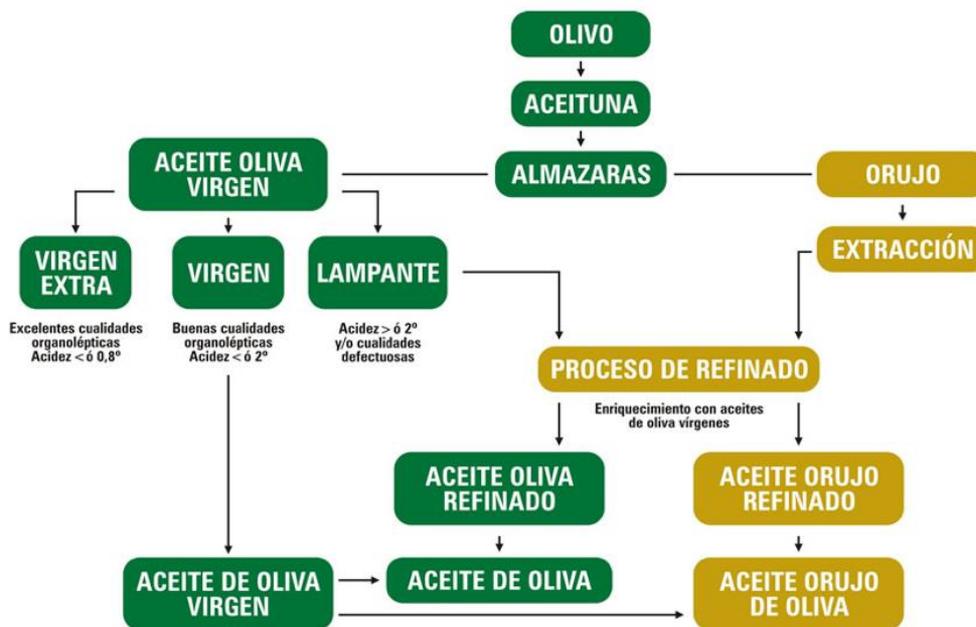


Figura 3-1. Clasificación de los diferentes aceites.

El aceite de oliva es uno de los más importantes a nivel nacional y también a nivel internacional. Su demanda no deja de crecer en diferentes partes del mundo. Debido a esto, se ha convertido en un gran motor para la economía de nuestro país. El mercado del aceite de oliva está en continuo movimiento y así lo demuestran los datos. Según “ASAJA JAÉN” las disponibilidades de aceite son muy superiores a las de años anteriores, las cooperativas pueden almacenar una parte del aceite de oliva producido, de una calidad determinada, durante el tiempo necesario hasta que las condiciones de equilibrio entre oferta y demanda se vuelvan a reestablecer. Todo ello bajo el amparo de lo establecido en el Reglamento de la Organización Común de los Mercados Agrarios. España tiene una producción media anual de 700.000-800.000 toneladas de aceite, llegando a alcanzar un récord de 1.600.000 en la campaña 2011-2012. España es el primer país productor y exportador mundial de aceite de

oliva representando más de la mitad de la producción de la UE y el 40% de la mundial. La mayor producción de aceite de oliva se encuentra en la comunidad autónoma de Andalucía, la cual produce el 80% del aceite español y casi un tercio del aceite mundial, y sus olivares ocupan el 40% de Andalucía como se puede observar en la figura siguiente, donde se muestra en verde la masa olivar (Figura 3-2).[8]



Figura 3-2. Ocupación de olivos en Andalucía.

3.1.1. Historia del mercado de aceite de oliva en España

El motivo por el que Andalucía está muy ocupada de olivos es debido a que el comienzo de la expansión de este cultivo se produjo hace más de 2000 años, durante el Imperio Romano. El territorio estaba dividido en provincias para una mejor organización y gestión administrativa, con el fin de abastecerse, solían encargarse a cada provincia que suministrasen sus productos característicos. La provincia de la Bética, territorio con una localización bastante aproximada a la actual Andalucía, proporcionaba oro, plata, cobre, plomo, cereales, vino y sobre todo aceite de oliva. Los romanos ya conocían y apreciaban la excelente calidad del aceite de oliva, por lo que se plantaron miles de olivos, muchos más de los que ya existían hasta entonces. El aceite de oliva era un producto imprescindible en aquella época, utilizándose para diversos usos, sobre todo para la alimentación, como combustible para las lámparas que servían de iluminación y también como elemento de belleza para el cuidado del cutis y el cabello. La superficie ocupada por olivos continuó aumentando en épocas posteriores a la romana. Sobre todo a partir de la presencia de los musulmanes en Al-Andalus, que influyeron en la difusión de su cultivo. La palabra “aceite” proviene del árabe “al-zait”, que significa “jugo de aceituna”. En este momento, aproximadamente un millón y medio de hectáreas de Andalucía están plantadas de olivos. Corresponde al 33 % de las tierras de cultivo y al 16 % de la superficie total de la región. Se concentra sobre todo en las zonas del centro y noreste. El resto se localiza en Castilla-La Mancha con un 7 %, Extremadura con un 5 %, Cataluña con un 4 % y la Comunidad Valenciana junto Aragón, con un 4 %. Casi el 95 % de la cosecha de la aceituna se destina a la obtención de aceite de oliva.



Figura 3-3. Paisaje de tierras de Jaén.

La Hispania romana mantuvo una agricultura intensiva sostenida sobre todo en dos recursos alimenticios básicos: trigo y aceite. Se realizaba una producción, distribución y comercialización a gran escala de ellos.

Debido a la riqueza de olivos, España cultiva el mayor olivar del mundo con 300 millones de olivos cubriendo más de 2,5 millones de hectáreas, su superficie cultivada representa más del 25% de la superficie olivarera mundial (Figura 3-4).



Figura 3-4. Producción de aceite de oliva en España.

3.2. En otros países.

El aceite de oliva español es exportado a más de 100 países en los 5 continentes, aunque sus principales mercados son:

- A granel: Italia es el principal mercado del aceite de oliva español a granel, seguido de Francia, Portugal y Reino Unido.
- Envasado: El aceite de oliva español envasado es exportado a Australia, EEUU, Brasil, Japón y Francia como principales destinos.

El aceite de oliva se ha convertido también en un alimento exclusivo en Corea del Sur. Esto es, ya que Hyundai además de ser uno de los mayores fabricantes de automóviles también es una cadena de grandes almacenes en Corea del Sur. Es justo por esto, en estos últimos años han puesto su objetivo en España y en nuestra alimentación, para llevarse marcas a sus lineales de platos de cocina significativamente refinados. Corea del Sur es un mercado fascinante para el aceite de oliva, si se tiene en cuenta que ha aumentado la apreciación por este producto debido a sus propiedades saludables y a su papel en la gastronomía. El consumo de aceite de oliva no forma parte de la dieta tradicional en Corea porque es más común utilizar aceite de soja para cocinar y de sésamo para condimentar y aderezar. A pesar de esto, y que no exista una tradición de consumir aceites de oliva, cada vez más aumenta el interés por el AOVE, “Aceite de oliva virgen extra”, debido a sus beneficios para la salud y a su papel en la gastronomía. En un principio, curiosamente, el aceite de oliva llamó la atención de los coreanos para practicar el “oil pulling”, que consiste en enjuagarse la boca con aceite para extraer las toxinas. Así, el foco en este producto estaba en la salud, por lo que, siguiendo la misma línea y debido a las cualidades saludables del AOVE, ha aumentado el interés por consumirlo en crudo.

En general, los coreanos piensan que un buen aceite de oliva virgen extra sirve para acompañar el pan y aderezar ensaladas, pero debido a la preocupación del punto de humeo, se ha establecido la idea de que el aceite de oliva no es apto para cocinar. El punto de humeo se refiere al punto de sobrecalentado de una sustancia; especialmente aceite de cocina o grasa comestible, donde se hace visible el humo que desprende la acroleína de las grasas. Un reto para el sector es que el uso de los aceites de oliva por parte de los coreanos no se limite solo para acompañar el pan sino que se pueda utilizar para cocinar sin preocuparse del punto de humo, o freciendo información acerca de por qué usar este producto en la cocina y demostrar que aporta más sabor en lugar de molestar, que también es un argumento típico para no consumirlo. De esta forma penetró en el mercado coreano, posicionándose como

un producto gourmet, si bien últimamente los aceites españoles y griegos tienen una mayor presencia en los lineales de los supermercados.

En el caso de España, este país ha sido uno de los destinos turísticos más populares para los coreanos (629.481 coreanos visitaron España en 2019), familiarizándose con la cocina y la cultura española. Esta imagen positiva puede favorecer a los aceites españoles para posicionarse en el mercado coreano.

En cuanto al formato de los aceites de oliva que se comercializan en Corea, es más común vender el formato de 250 ml. en botellas o en latas para facilitar un consumo que todavía no es elevado.



Figura 3-5. Exportaciones de aceite de oliva desde España.

3.2.1. Diferencia de venta a granel y embotellado.

El gran problema que presenta el aceite español en la competición de exportaciones entre otros países, es la poca eficacia a la hora de saber venderlo. Sin duda, el mejor aceite es el español, pero posee un problema comercial.

En el mercado oleíco existen dos mercados fundamentales de referencia, que son la venta a granel y la venta del aceite envasado como se comenta en el apartado 3.2.

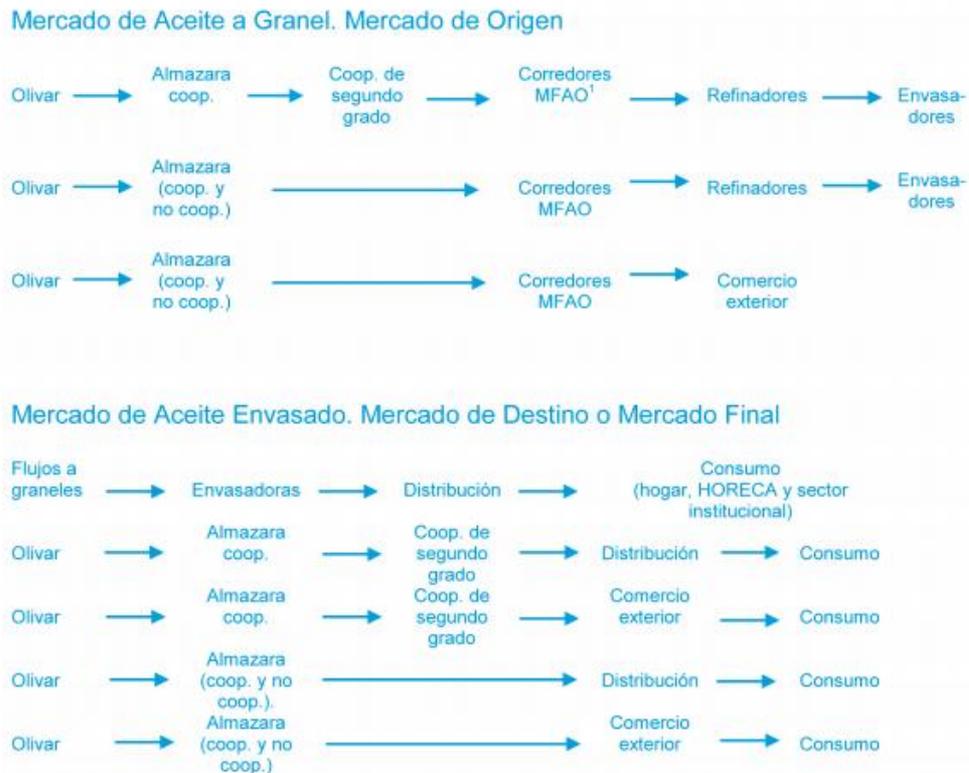


Figura 3-6. Diferencias de venta a granel respecto a embotellado.

La venta a granel consiste en la venta de cargas que se efectúan de grandes cantidades sin empaquetar, ni envasar. Es un producto que se comercializa habitualmente a distribuidores como se observa en la figura 3-6, donde se vende a granel para otros usos, como destino puede ser la refinería en caso del aceite lampante. El aceite a granel sólo se diferencia de los demás por el envase, pero ni mucho menos pierde calidad ni propiedades.

La venta del aceite envasado ó embotellado es la fase final antes de su consumo. Para ello, el aceite tiene que ser almacenado ante la espera de ser embotellado para su posterior distribución a los consumidores finales como se puede observar en la figura 3-6. Es importante que la fase de envasado del aceite esté bajo el marco legal para el cumplimiento de licencias con el fin de garantizar un tratamiento higiénico y adecuado para un producto para el consumo humano. El proceso de envasado está orientado a mantener el aceite en excelentes condiciones hasta el momento del consumo. Por ello, hay que tener cuidado con la oxidación y fermentación que estropean la calidad del aceite ya que son muy agresivos.

El mercado del aceite de oliva vive la polémica entre España e Italia. Esto es debido al aceite que Italia exporta aceite con “marca italiana” pero de italiano sólo tiene la etiqueta ya que la mayor parte de las exportaciones son producto de las mezclas de aceites que proceden de Marruecos, Grecia y principalmente de España. España es el primer productor y exportador mundial, además España está consolidando su crecimiento en China e India, pero Italia es nuestro principal comprador ya que absorbe más del 65 % de toda la exportación española y el segundo exportador mundial, lo que le convierte en la competencia. En otras palabras, Italia es el mejor cliente de España y también el competidor más directo y desleal (Ver figura 3-7).

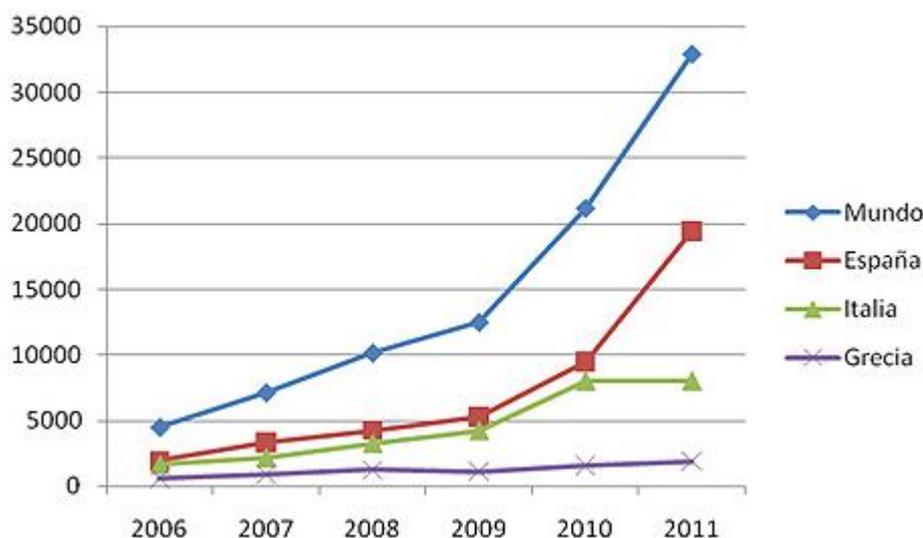


Figura 3-7. Producción de aceite de oliva en las principales potencias productoras.

España es el país que genera aceites de alta calidad, pero no los comercializa de forma directa. Sin embargo, España encabeza el mercado a granel, con otro amplio margen siendo las proporciones aproximadas un 28% de España frente a un 2% de Italia. Las empresas norteamericanas en estos casos de venta a granel son las encargadas de embotellar y comercializar el aceite español, pero no como marca española. Como se observa en la figura 3-7, Italia le pisa los talones a España, cada vez Italia se vuelve más peligrosa para los intereses españoles. A día de hoy, según algunas fuentes, España dejará de exportar a Italia más de 60.000 t de aceite de oliva, dejando de ser uno de nuestros principales clientes. Esto podría hacer mucho daño a aquellos productores españoles que tenían focalizado sus exportaciones a granel a Italia.

La otra cara de la moneda que se vive en Italia es que los precios en origen para la categoría virgen extra se están situando ya en los 2,80€/t, un euro por debajo de las cotizaciones que habitualmente se mueven en este país. Pero es que, además, también en Italia, ya se sufre una caída de precios de las principales marcas de aceite de oliva virgen extra, donde se pueden ver ya ofertas a 3,59€ la botella. Una auténtica ruina en un mercado donde el aceite de oliva siempre ha contado con un importante valor añadido.

3.3. Estudio económico de los diferentes aceites.

El precio del aceite de oliva cambia constantemente debido a la producción y demanda del mercado. Si un año la cosecha es escasa, pero existe una gran demanda del producto, el precio tiende a subir y viceversa. No todos los aceites son iguales ni tienen los mismos costes de producción, por lo que el precio del aceite de oliva a granel es mucho más rentable para unos productores que para otros. Estos costes comprenden la mano de obra, maquinaria, instalaciones y productos (fertilizantes, herbicidas...) necesarios para:

- La preparación del suelo mediante operaciones de laboreo, desbrozado, etc.
- La poda de los olivos y eliminación de los restos.
- La fertilización del suelo y tratamientos foliares.
- Los tratamientos fitosanitarios del árbol.
- La implementación de un sistema de riego, la energía y el coste del agua para llevarlo a cabo.
- Finalmente su recolección y transporte a la almazara para la venta del fruto.

Los productores venden más caro el aceite en origen que hace 5 o 6 años debido a 3 factores importantes:

1. La producción del mismo ha caído de forma importante.
2. Los agricultores estaban siendo afectados por los bajos precios del aceite.

3. Fuerte demanda del aceite de oliva.

España es líder mundial en la producción de aceite de oliva, sin embargo el aumento de las temperaturas y la falta de lluvia pueden ser las causantes de que esta producción de aceite de oliva haya caído tanto en los últimos años. Como se puede observar en la figura 3-8, los cuatros productos principales son el aceite de oliva virgen extra, también conocido como AOVE, Aceite de oliva virgen, aceite de oliva y aceite de orujo.

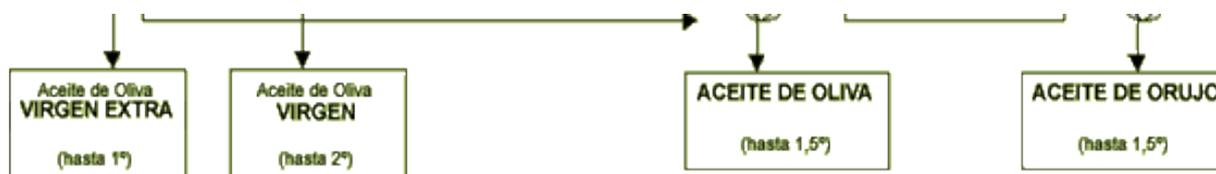


Figura 3-8. Productos finales como aceites consumibles.

Los datos relativos al aceite de oliva virgen extra y el aceite de oliva virgen son recogidos directamente de organismos como el mercado del aceite, Infoliva, coosur, y POOLred, que es conocido como el precio del aceite en tiempo real. Sin embargo, tanto el aceite de oliva como el aceite de orujo se obtienen tras pasar por la refinería y mezclarse con aceite de oliva virgen con aceite de oliva refinado y aceite de orujo refinado, en ambos la proporción de aceite de oliva virgen es aproximadamente de 15%. Según los datos recogidos de InfoOliva, se conocen los precios actualizados del aceite de oliva virgen extra, aceite de oliva virgen, aceite de oliva refinado y de aceite de oliva lampante, los cuáles se encuentran recogidos en la tabla 3-1. Por tanto, para obtener el precio del aceite de oliva compuesto por la mezcla de aceite refinado y aceite de oliva virgen se aplican las ecuaciones 3-1 y 3-2. De la misma manera se calcula para el aceite de oliva de orujo.

- **Aceite de oliva (AO)**

Conociendo que el coste de aceite refinado es 1,925 euros/kg.

$$\text{Precio AO} = 0,85 \cdot \text{Coste de aceite refinado} + 0,15 \cdot \text{Coste de aceite de oliva virgen} \quad (3-1)$$

$$\text{Precio AO} = 0,85 \cdot \frac{1,925 \text{ euros}}{\text{kg}} + 0,15 \cdot \frac{1,961 \text{ euros}}{\text{kg}}$$

$$\text{Precio AO} = 1,9304 \text{ euros/kg}$$

- **Aceite de oliva de orujo (AOO)**

Sabiendo que el precio del aceite de orujo refinado es: 103,71 euros/100kg y aplicando la ecuación 3-2, se obtiene el precio al que se podría comercializar el aceite de oliva de orujo.

$$\text{Precio AOO} = 0,85 \cdot \text{Coste de aceite de orujo refinado} + 0,15 \cdot \text{Coste de AOVE} \quad (3-2)$$

$$\text{Precio AOO} = 0,85 \cdot \frac{103,71 \text{ euros}}{100 \text{ kg}} + 0,15 \cdot \frac{1,961 \text{ euros}}{\text{kg}}$$

$$\text{Precio AOO} = 1,1756 \text{ euros/kg}$$

Tipo de aceite	Precio (euros/kg)
Aceite de oliva virgen extra	2,2850
Aceite de oliva virgen	1,9610
Aceite de oliva	1,9304
Aceite lampante	1,9000
Aceite de oliva refinado	1,9250
Aceite de orujo refinado	1,0371
Aceite de orujo	1,1756

Tabla 3-1. Tabla con datos de los precios adjuntos.

Una vez conocido todos los precios, como se muestran en la tabla 3-1 y figura 3-9, el aceite de oliva virgen extra es el aceite más caro, y el más barato entre los productos comerciales, es el aceite de oliva de orujo debido a que este aceite ha perdido algunas de sus propiedades, aún así sigue estando disponible para el consumo ya que es una fuente rica de ácido oleico. También cabe destacar como en la figura 3-9, el precio del aceite de oliva tiene un precio medio y considerable, pero muy cercano al aceite de oliva virgen por lo que supone una competencia en las compras ya que este último es de una calidad superior.



Figura 3-9. Representación gráfica de los precios de los diferentes aceites.

Este análisis ha sido de forma genérica, pero hay que profundizar en el aceite de oliva, que como se ha comentado es la mezcla de aceite de oliva virgen extra con aceite refinado. Este tipo de producto oleico se subdivide en dos grandes aceites. Se trata de otra clasificación de los tipos de aceite de oliva. En esta clasificación se debe tener en cuenta que estos calificativos relacionados con el aceite no tienen que ver con la calidad del producto, si no con una terminología creada por algunas marcas que comercializan aceite de oliva. Los conceptos suave o intenso nacen cubriendo toda la gama de aceite de oliva, una mezcla de aceite refinado y virgen, que no se encuentra bajo estándares legislativos de ningún tipo. Los dos aceites son:

- Aceite de oliva suave: es aquel aceite que presenta un nivel más bajo de amargor y picor al ser ingerido. Si lleva más cantidad de aceite de oliva refinado, se llama aceite de oliva suave o 0,4°.

- Aceite de oliva intenso: aquel aceite que si lleva más cantidad de virgen o AOVE se denomina aceite de oliva intenso o 1º.

3.4. Variación del precio en el tiempo.

El mercado del aceite de oliva tiene un funcionamiento similar al mercado de valores de la bolsa, en la que el precio en cada momento se establece en función de la oferta y de la demanda, que a menudo vienen afectadas por múltiples factores que condicionan el precio del aceite de oliva. En esta última temporada en España se ha reducido la producción de aceite de oliva aproximadamente un 31% respecto a la temporada anterior. En la siguiente figura 3-10, se muestra representativamente los precios desde el mes de octubre de 2010 hasta la actualidad, y se puede ver las bajadas y subidas de precio según sea un momento u otro, todo eso propiciado por diferentes causas y motivos.

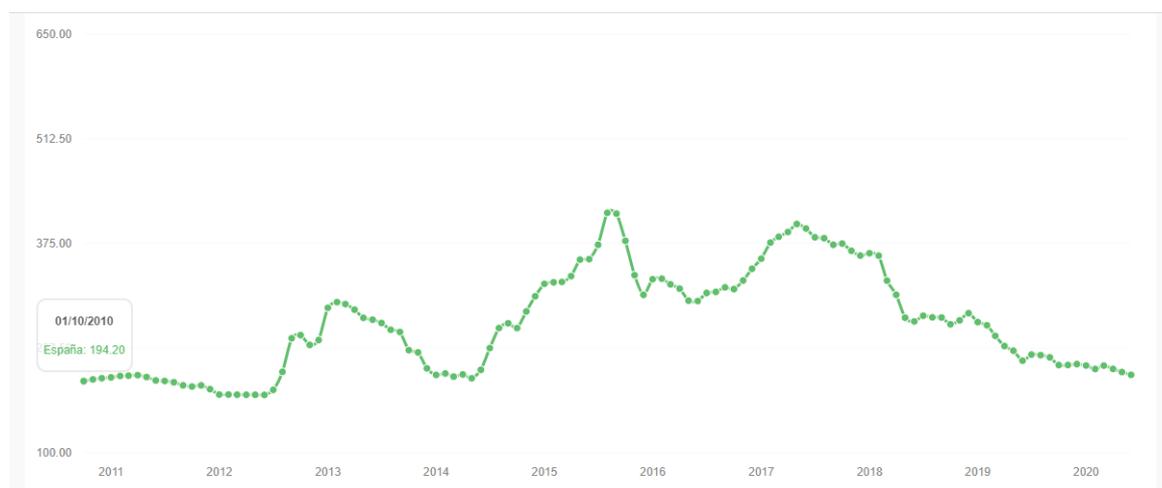


Figura 3-10. Variación del precio del aceite de oliva a lo largo del tiempo.

Como observa en la figura 3-10, hasta a mediados del año 2012 el precio del aceite de oliva se encontraba muy bajo menos de 2,5 euros/kg eso provocaba que no se pudiera hacer frente de todos los costes de producción provocando mucha controversia entre los agricultores. Poco a poco, va aumentando la demanda de aceite de oliva y a su vez se produce una gran caída en la producción del aceite, a finales del año 2013 como se observa en la gráfica, la mezcla de esos dos factores conocidos como alta demanda y baja oferta, produjeron un aumento directo del precio del aceite, así se consiguió entre los años 20014/2015 un incremento creciente manteniéndose unos años hasta mitad de año del 2017, llegando a alcanzar el aceite un precio máximo de 4,15 euros/kg. A partir de ahí empezó a bajar, pero no mucho y las buenas cosechas provocó el descenso del precio en el año 2018 que en 3 meses pasó de tener un precio de 3,60 a 2,77 manteniéndose el precio en descendencia constante y desde ahí ha ido bajando hasta día de hoy a precios muy bajos. En la última temporada 2019/2020 debido a la pandemia mundial producida por el coronavirus, en España la lucha por conseguir un precio justo del aceite de oliva ha pasado a un segundo plano a pesar de la perseverancia de los trabajadores de este campo, además ha estado el precio más bajo que nunca.

3.6. Venta a pérdidas.

La venta a pérdida del aceite de oliva supone la gran amenaza para el aceite de oliva español, esto ocurre cuando grandes cadenas de supermercados banalizan el producto por la comercialización del producto por debajo de costes, estableciendo unos precios demasiados bajos. De hecho, la Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos presentó una denuncia en enero de 2014, basándose en un estudio de mercado que demostraba que no se podía vender el aceite por debajo de 2,20 euros el litro sin incurrir en pérdidas. Existen muchas denuncias contra grandes cadenas de supermercados como son “DIA”, “El Corte Inglés” ó “Carrefour” por hacer campañas de ofertas abusivas hacia el aceite de oliva español, donde se producen rebajas hasta de un 30% el precio de la

garrafa de aceite, dejándolo muy por debajo del precio de producción. [9]

El precio de venta en el campo del aceite se encuentra aproximadamente en torno a 2,60 euros por lo que las asociaciones agrarias explican que es imposible venderlo a un precio inferior a éste. El gobierno de España en el año 2018 fijó limitaciones a la venta a pérdida para evitar prácticas desleales de las empresas a los consumidores, mediante una nueva regulación que incluye el Real Decreto Ley de medidas urgentes para el impulso de la competitividad económica en el sector industrial y comercial. Tanto la venta a pérdidas como el concepto de influencia del tiempo en el precio desarrollado en el capítulo 3.5., son factores determinantes en la rentabilidad de la producción del aceite de oliva refinado.

4. ACEITE DE OLIVA REFINADO

El proceso de “Refinación” de un aceite consiste en someterlo a una serie de procesos físico-químicos para eliminar todos sus compuestos que le confieren las propiedades no deseables. El aceite que se obtiene pierde el apellido “virgen” porque ya “no es zumo natural de aceituna” y toma el apellido “refinado”. En este capítulo se desarrolla las especificaciones de este tipo de aceite, así como su proceso de elaboración y de obtención.

4.1. Historia del proceso de refinación.

El proceso de refinado industrial del aceite de oliva fue introducido en la industria oleíca a final del siglo XIX y desde entonces se han realizado grandes mejoras tecnológicas. Lógicamente, la tecnología de las almazara ha ido mejorando de forma importante hasta nuestros tiempos, dando paso las piedras de molino, las prensas y las tinajas, a los molinos de martillos, batidoras y centrifugadoras modernas, en las que se controla en todo momento la temperatura y el proceso de extracción. Sin embargo, no hace muchos años, en las almazaras se seguían empleando tecnologías y métodos rudimentarios, que unidos al mal estado del fruto con el que se elaboraban, daban lugar a aceites rancios y defectuosos muy alejados de poder ser clasificados como aceite de oliva virgen extra. La rigurosa normativa medioambiental y el interés de la industria por producir mejoras y un ahorro de costes económicos han forzado a los fabricantes de las instalaciones oleícas a innovar y desarrollar nuevos productos y equipos. Los complejos oleícas-industriales quedaban caracterizados por la existencia de varias estancias independientes, entre sí, formadas por: almazara, jabonería, extractora de orujos, refinería, bodega, etc. Entre todas estas dependencias, estaban las majestuosas chimeneas de ladrillo cerámico. El conjunto de dichas estructuras creó un lenguaje arquitectónico nuevo para la industria oleícola. Promovieron durante las primeras décadas del siglo XX, conjuntos urbanísticos autosuficientes, derivados de la ideología paternalismo empresarial, que buscaba reunir en un espacio concreto todos los elementos de la vida de los obreros para un mayor y eficaz control sobre los trabajadores y su rendimiento laboral.

En definitiva, la mayoría del aceite que se producía en las almazaras de aquella época no era apto, por lo que antes de comercializarse, debía llevarse a fábricas donde se refinaba para reducir su acidez y quitarle los malos sabores y olores. Por aquellos tiempos, el aceite refinado proveniente de estas refinerías, se vendía más caro que el zumo que se producía directamente en la mayoría de las almazaras.[9]

4.2. Refinado

El refinado es un proceso químico y físico, al que se someten los aceites de oliva vírgenes y los aceites de orujo, que por sus características organolépticas y de acidez no son aptos para el consumo. Es decir, el objetivo es eliminarle todos los compuestos que le proporcionen propiedades no deseables. El aceite que se obtiene tras el refinado pierde el apellido “virgen”, porque ya no se trataría de un zumo natural de aceituna y toma como apellido “refinado”. [10]

Durante el refinado se realizan las siguientes operaciones:

- Winterización: también conocido como invernación, que consiste en el enfriamiento del aceite para eliminar estearinas, glicéridos muy saturados, ceras y esteroides, es decir para eliminar aquellos glicéridos de punto de fusión elevados, ya que son compuestos que solidifican en frío. Para realizar la invernación es necesario previamente dejar reposar y decantar el aceite contenido en tanques a la intemperie durante el invierno. Con esto se consigue facilitar la filtración posterior. La gran demanda de aceites de esta clase en la actualidad, hace esencial el uso de frío artificial y la filtración del líquido para separar las porciones sólidas.

Normalmente, el aceite se somete a un enfriamiento rápido hasta unos 5 ° durante un día.

- Separación de mucílagos: cuyo objetivo es eliminar las lecitinas y las gomas.
- Decoloración: también conocido como blanqueamiento, consiste en la eliminación del color mediante carbon activo ó bien por tierras adsorbentes como la bentonita. Consigue eliminar ó corregir los colores visualmente defectuosos como el verde oscuro casi negro ó el pardo anaranjado de los compuestos oxidados.
- Neutralización: se trata de una reducción del grado de acidez. Se lleva a cabo mediante tratamientos con hidróxidos alcalinos, operación de saponificación, los jabones de estos ácidos grasos, obtenidos por adición de sosa, son fácilmente eliminables al ser insolubles en el aceite.
- Desodorización: realizado con tratamientos de agua a temperaturas de entre 160 y 180 °C a elevado vacío, donde se eliminan determinados aldehídos. Este proceso no se realiza tampoco en las almazaras sino en refinerías específicas.

Dependiendo de la intensidad de las alteraciones o defectos del aceite de oliva defectuoso (comiente y lampante) el proceso de refinación del mismo puede ser total, si se realizan todas las etapas, o parcial en caso de que sólo se realicen algunas porque el aceite no esté muy defectuoso.

Durante este proceso se pierde la virginidad del aceite al entrar este en contacto con disolventes orgánicos y/o productos químicos, también se pierden vitaminas y antioxidantes, motivo por el que un aceite de oliva refinado tiene un valor biológico prácticamente nulo y por ello es preciso que para su envasado y comercialización se acompañe o mezcle con aceite de oliva virgen (extra o fino), convirtiéndose en aceite rectificado.



Figura 4-1. Embasado de aceite en una almazara.

El aceite de oliva refinado es aquel aceite que tiene que pasar por una refinería para que pueda ser comestible. Allí pierde muchas de las propiedades de los aceites de oliva vírgenes de mayor calidad por sus cualidades organolépticas y saludables debidas a su cultivo, recolección y proceso de elaboración. Como se puede observar en la figura 4-2, el aceite refinado queda con un color muy claro, conforme va progresando en el proceso de refinación, mayor es la claridad.[11]



Figura 4-2. Aceite de oliva refinado embotellado.

Los aceites de oliva vírgenes corriente y lampante no son aptos para el consumo. Se llevan a una refinera para eliminar sus defectos: se rebaja la acidez con sosa y otros productos químicos hasta aproximarla a cero y se someten a temperaturas elevadas para desodorizarlo y decolorarlo. El resultado es aceite de oliva refinado, no huele ni sabe a nada, pero sobre todo, ha perdido sus vitaminas y compuestos de alto valor biológico. Es necesario mezclarlo con aceite de oliva virgen corriente para sacarlo a la venta. La mezcla de aceite refinado (normalmente 80-90%) y de aceite virgen (10-20%) es el aceite de oliva a secas, el aceite de aceituna más comercializado en España.[12]

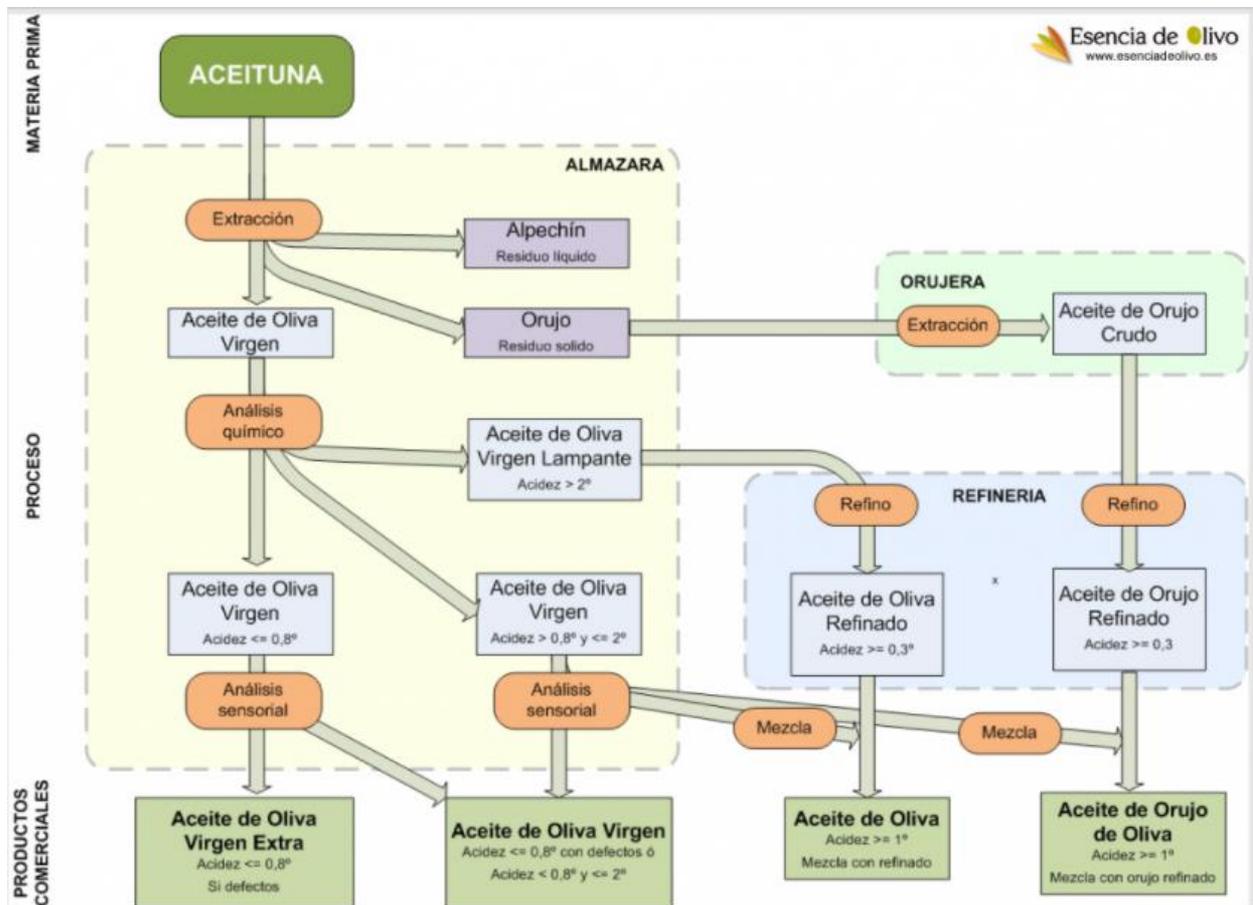


Figura 4-3. Esquema de la obtención de los diferentes tipos de aceites.

Como se observa en la Figura 4-3, y como se ha hecho mención anteriormente para obtener el aceite de oliva refinado se trata en la refinería, procedente del aceite de oliva virgen y del aceite de oliva virgen lampante. El aceite lampante es aquel que tiene una acidez superior a 2, y no está en condiciones de continuar en el proceso, como consecuencia es desviado a la refinería para su acondicionamiento.

- Refinación química

Una refinación química se realiza con el fin de eliminar los ácidos grasos del aceite crudo que se extrae de las semillas. Estos se neutralizan con el uso de sosa cáustica. Esto da como resultado la eliminación de los jabones de sodio por decantación o por lotes separadores centrífugos. Los aceites neutros son entonces blanqueados y desodorizados (Ver figura 4-4).

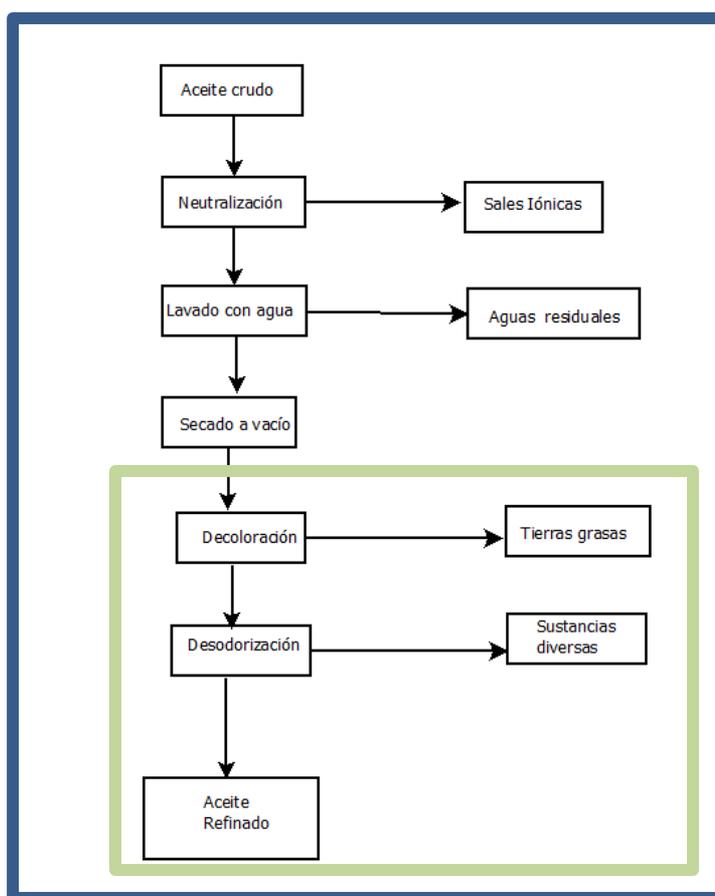


Figura 4-4. Proceso de refinación química y física.

- **Neutralización:** Es el proceso por el cual se eliminan los ácidos grasos libres de los aceites. También contribuye considerablemente a eliminar contaminantes, tales como las aflatoxinas y los órganos fosforados. La neutralización se lleva a cabo con la adición de sosa cáustica (la cantidad añadida depende de las características de la materia prima tratada), a una temperatura de entre 75-110°C. Como resultado de este proceso se obtienen tres fases o componentes:
 - Pastas, enviadas normalmente a plantas de productos Especiales.
 - Agua, que se conduce a depuradoras de Aguas Residuales.
 - Aceite, destinado a la etapa de decoloración.
- **Secado:** Antes de la decoloración es necesario eliminar el agua dispersa en el aceite, ya que disminuye la eficacia del tratamiento con adsorbentes. La deshidratación se realiza en columnas de vacío y el agua es eliminada por calentamiento a 70-80 °C. A continuación, se realiza la decoloración, que sigue el

mismo esquema que en la refinación física, a la que le sigue la etapa de desodorización.

- **Decoloración:** Se trata de eliminar la coloración excesiva del aceite debida a la presencia de distintos pigmentos como los carotenos, clorofila y derivados, xantofila, gopipol y derivados de oxidaciones del tocoferol.
- **Desodorización:** El aceite pasa por la etapa de desodorización para eliminar las sustancias causantes del mal olor y del mal sabor del aceite, como son principalmente aldehídos, cetonas, carotenoides, tocoferoles, ácidos grasos libres de cadena corta (como el butírico, isovaleriánico o caproico) esteroides, y algunos compuestos azufrados. El proceso comienza con un calentamiento del aceite decolorado hasta la temperatura máxima de desodorización (unos 200 °C). Después se realiza una destilación por arrastre de vapor a vacío (debido a que hay que evitar todo contacto con el oxígeno, pues produce oxidaciones indeseables). En estas condiciones se destilan los compuestos y sustancias causantes del mal olor del aceite.
- Refinación física

La refinación física es aquella donde se suprimen las etapas de adición de productos químicos, en las etapas de depuración y neutralización, pero a costa de realizar una destilación mucho más intensa en tiempo y en temperatura. Como se puede observar en la figura 4-4, las etapas de la refinación física constituyen solamente acondicionamiento, decoloración y desodorización señaladas con el color verde, por lo que el resto de etapas se eliminarían para la refinación física.

Para finalizar el proceso, el aceite procedente de la desacidificación/desodorización se filtra, se enfría y se envía a los depósitos de almacenamiento. Por tanto, la refinación del aceite consiste en un proceso químico- físico, muy enérgico y drástico, que cuenta con siete etapas diferenciadas, donde interviene, como ayudas de proceso: ácido fosfórico, sosa cáustica, tierras activadas y/o carbón activo.

Como resultado, el aceite de oliva refinado es una grasa vegetal incolora, inodora e insípida que únicamente se distingue del resto de los aceites vegetales (girasol, soja, colza, etc.) en su contenido en ácido oleico, única ventaja nutricional que mantiene tras el refinado. (Ver Tabla 4-1)

Acidez	Índice de peróxidos	K232	K270	ΔK	Mediana del defecto	Mediana del frutado
$\leq 0,3$	≤ 5	----	$\leq 1,10$	$\leq 0,16$	----	----

Tabla 4-1. Propiedades del aceite de oliva refinado.

4.3. Refinación física /Refinación química.

La utilización de la refinación física ó química dependen del tipo de aceite. Si el aceite no es muy defectuoso, se hará mediante procesos físicos, pero si los defectos son elevados y tiene mucha acidez se aconseja el empleo de métodos químicos. Otra alternativa es la combinación de ambas técnicas cuando se tiene un aceite con una acidez muy elevada pero no con muchos defectos, en este caso se podría eliminar la acidez mediante métodos químicos y continuar con métodos físicos. presenta una serie de ventajas con respecto a la refinación química:

1. Mayor simplicidad en las operaciones a realizar, ya que la principal diferencia entre el refino físico y el químico es que en el proceso químico se eliminan los ácidos grasos libres y las demás impurezas del aceite tratándolo con una disolución alcalina que los neutraliza, mientras que por otra parte en el refinado físico se sustituye por una destilación que además desodoriza el aceite ahorrando de esta manera la correspondiente etapa de desodorización y las sucesivas etapas de separación de fases que requiere el método químico.
2. Menor consumo energético.
3. Menores costes de proceso, ya que se emplea menos cantidad de productos químicos y se origina menor cantidad de residuos, obteniendo mayor rendimiento del proceso.

4. Menor impacto ambiental.
5. Menores pérdidas de aceite, ya que en el refinado químico la recuperación nunca es completa a pesar de tener mayor cantidad de etapas en su proceso.
6. Productos de buena calidad ya que los aceites que pasan por una refinación física son aquellos aceites lampantes de buena calidad. Sin embargo, Los aceites de orujo crudo, aceites lampantes de mala calidad y los de orujo crudo de mala calidad son procesados por la refinación química.
7. El refinado físico del aceite es un método más moderno, empleando principalmente por grandes industrias.

5 OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo del proceso de refinación física, constituido principalmente por las etapas de acondicionamiento, decoloración y desodorización. El proceso de producción de aceite de oliva refinado parte del aceite de oliva lampante con una acidez superior a 2. Se trata de un aceite de oliva virgen que no es apto para el consumo, por tanto, es procesado a la refinería para su rectificación y su posterior mezcla con aceite de oliva virgen extra, con el fin de obtener lo que se conoce como aceite de oliva, siendo ya un producto de consumo (Ver figura 5-1).

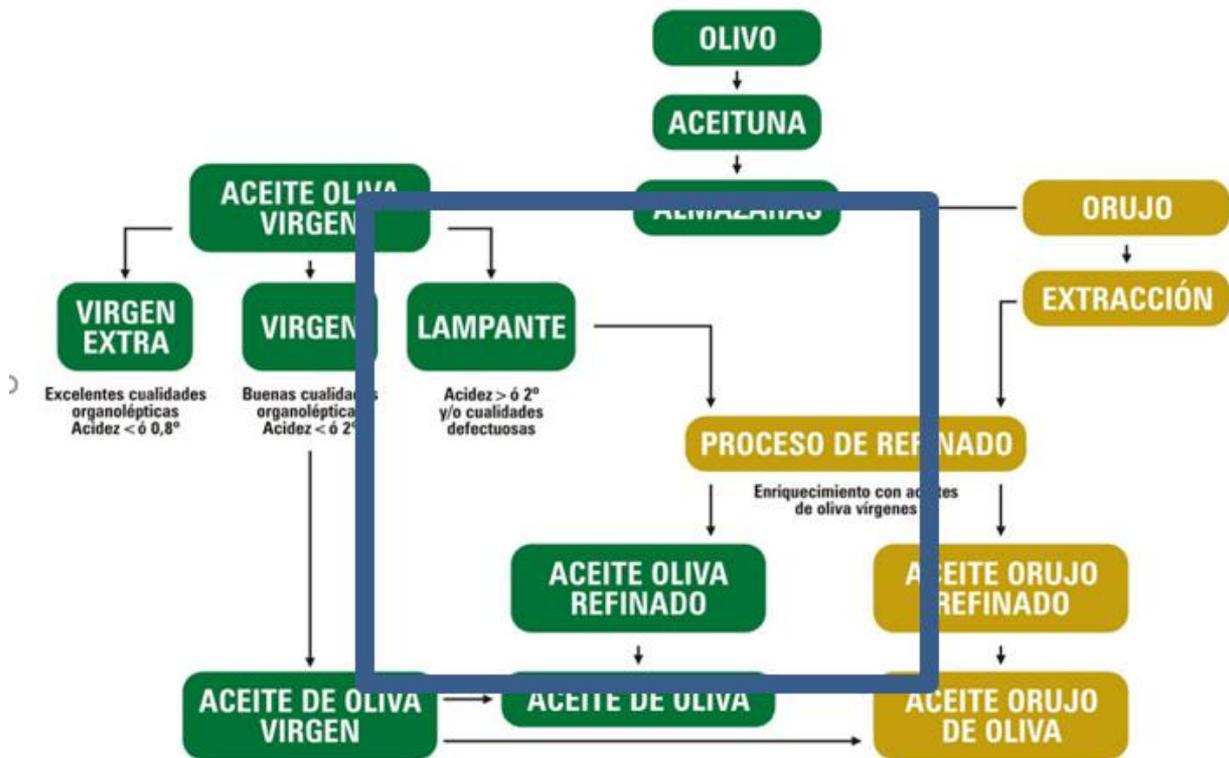


Figura 5-1. Esquema de materias primas y productos del proceso de refinación.

El aceite llega en condiciones tales que su consumo no está permitido, por lo que va a ser procesado para acondicionarlo, decoloración y desodoración, quitándole así el color y los malos olores, por lo que no va a ser tratado con una refinación química previa, directamente va a ser procesada por una física. En el supuesto caso, de que llegase sucio, es decir, haya perdido durante el proceso de la almazara muchas de sus propiedades, el aceite pasaría antes de entrar al proceso por un proceso en serie de 3 centrifugadoras. Esto consistiría en tres equipos en serie capaces de eliminar la suciedad muy fina que contiene el aceite hasta 1 micra. Es decisivo realizar la separación mediante las centrifugas para lograr la máxima calidad del aceite, el rendimiento y la rentabilidad de la planta, en el caso de que el aceite lampante fuera de mala calidad. Como se puede observar en la figura 5-1, y como ya se ha indicado anteriormente, el proceso va a estar centrada en el aceite lampante con dichas cualidades hasta el aceite de oliva refinado.

6 MEMORIA DESCRIPTIVA

En este capítulo se describe el proceso de refinación física con el fin de obtener aceite de oliva refinado, constituido por las etapas de acondicionamiento, decoloración y desodorización. Para ello, se evalúan las distintas alternativas para la ejecución, eligiendo y justificando cada una de ellas. Así como la elección y justificación de los equipos que participan en el proceso.

6.1. Descripción del proceso industrial.

El proceso de refinación busca purificar los aceites no aptos para consumo humano, porque se consideran no comestibles según su índice de acidez y debido a la presencia de tocoferoles, gomas, antioxidantes, aldehídos, alquenos y butenos. El proceso de refinación de aceite es complejo, está formado por varios pasos a seguir, entre ellos se encuentra la refinación química y la refinación física como se ha comentado en el capítulo 4.

En el diseño de la siguiente planta industrial de refino de aceite de oliva, el aceite crudo que llega a la corriente 1 es aceite de oliva lampante no apto para el consumo. Si el aceite crudo llegase a la refinería muy sucio, es decir, llegase descuidado y en condiciones en las que fuese esencial hacerlo pasar por una refinación química, se trataría previamente con un conjunto en serie de tres centrifugadoras para su limpieza. En este caso, no va a ser así y como se ha explicado anteriormente en el proceso de refinación y como se puede observar en la figura 6-1, el diagrama de bloques va a consistir en primer lugar en el acondicionamiento. Para ello, el aceite es sometido a un precalentamiento previo para llegar a una temperatura aproximadamente de 95°C. Aunque, más adelante, en los capítulos de explicación y justificación de cada uno de las etapas se desarrolla explícitamente con detalle, así como el funcionamiento de cada uno de los equipos que participan en cada etapa.

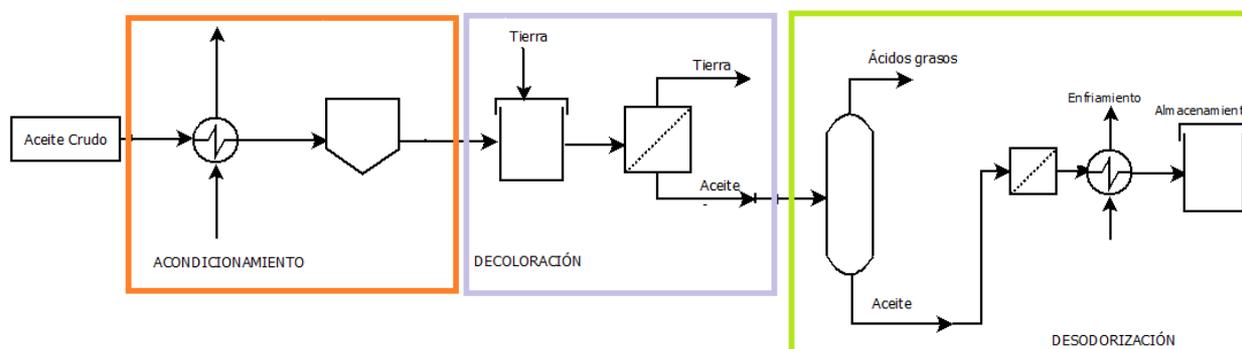


Figura 6-1. Fases del proceso de refinación física del aceite de oliva lampante.

Una vez el aceite se acondiciona, está en condiciones de pasar a la etapa de decoloración con la finalidad de eliminar el color del aceite mediante tierras naturales, las cuales actúan de adsorbentes. Para esta eliminación, la mezcla de aceite y tierra, una vez que están totalmente mezclados pasan por un filtro y así llegar al siguiente y último paso del proceso, la desodoración. En esta última etapa, el aceite es procesado a destilación a vacío para eliminar los ácidos grasos libres que son los culpables de los malos olores del aceite y seguido de una serie de enfriamientos para almacenarlo en condiciones adecuadas.

6.2. Acondicionamiento.

El acondicionamiento es el proceso como se ha comentado en el capítulo 4, que se encarga como la palabra dice, de acondicionar, es decir, de conseguir que el aceite que llega a la refinería consiga las condiciones de operación necesarias. Para ello, es necesario que el aceite esté limpio y si no está limpio debe de realizarse su correspondiente limpieza para el posterior precalentamiento mediante un intercambiador de calor. En esta

primera etapa surgen varias alternativas para su desarrollo.

- Establecer tres centrifugadoras en serie: El esquema a seguir a penas cambiaría, la diferencia está entre el deposito de entrada, de recepción y el deposito para operar y mandar ese aceite al intercambiador. Ese tren de tres centrifugadoras en serie consistiría como se puede observar en la figura 6-2, en una limpieza del aceite, esto ocurre cuando el aceite ó la aceituna han estado en la interperie ó han existido otros fallos a lo largo de otros procedimientos anteriores hasta llegar a éste.

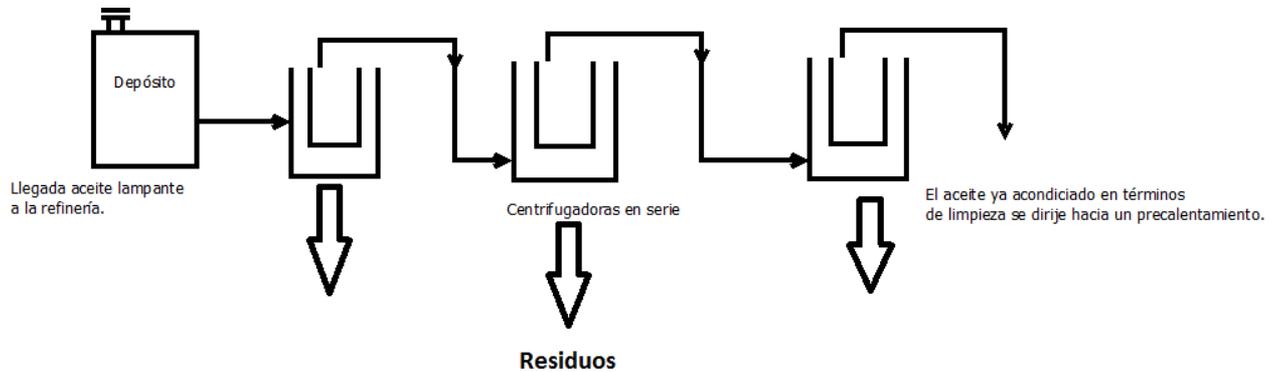


Figura 6-2. Acondicionamiento mediante tren de centrifugadoras en serie.

Como se observa en la figura 6-2, el aceite una vez pasa por las tres centrifugadoras iría directo al precalentamiento oportuno para poder estar en condiciones de operación.

- Se asume que el aceite lampante que llega a la refinería, llega en condiciones de operación en términos de limpieza correctas y solo es necesario el almacenamiento junto con el precalentamiento.

6.3. Justificación, elección y explicación de alternativa de acondicionamiento.

La alternativa elegida es la segunda, es decir el aceite lampante llega a la refinería en condiciones de operación como se explica en el capítulo de objetivos, ya que se realiza una suposición de que el aceite lampante que llega se encuentra en buen estado y no es necesario la refinación química mediante centrifugadoras. Para el caso en el que se va a tratar el aceite, los equipos que participan son:

- Dos depósitos de almacenamiento de aceite.
- Una válvula de bypass, por si se estropea los equipos de la corriente principal.
- Dos válvulas de mariposa.
- Dos válvulas de bola.
- Una tolva de recepción.
- Una tolva de pesaje.
- Una tolva de salida.
- Dos bombas de impulsión de aceite.
- Un intercambiador de calor.

El aceite de oliva lampante llega de la almazara considerado como un aceite de oliva de mala calidad debido a que tiene una acidez superior a 2 (ver figura 7-1). Para ello, el aceite es almacenado en un depósito de gran capacidad, D001, este aceite se encuentra en condiciones ambientales, aproximadamente 20°C. Una vez se encuentra almacenado en un depósito para usarlo cuando la empresa crea conveniente, es necesario impulsarlo

mediante una bomba, para estos casos como se trata de aceite y como se explica en la justificación de los equipos, se tratan de bombas de engranajes, ya que son específicas para fluidos como el aceite. La bomba B001, hace impulsar el aceite hasta hacerlo llegar a una altura donde se encuentran dos ramales, uno es una corriente de bypass, formada por su corresponsando válvula V002, cuya existencia está justificada por motivos de seguridad, es decir, en caso de que la corriente principal que está compuesta por tres tolvas se estropeará, tener otra alternativa que sería la de bypass. Como bien se dice, la corriente principal es la que posee las tolvas, una vez el aceite entra en esta corriente donde el aceite se sigue manteniendo a esa temperatura, primero pasa por la válvula V001, que es una válvula de bola para la regulación del caudal que entra en esta corriente hasta llegar a la primera tolva de la planta, la tolva de recepción T001. Esta tolva la única finalidad que tiene es recibir la materia prima, en este caso el aceite, y en su zona inferior tiene un orificio donde se conecta a la corriente para llegar a la tolva de pesaje. Antes de eso la corriente de aceite pasa por otra válvula, V003, que se trata de una válvula de mariposa, muy característica en este sector que se encarga de interrumpir o de regular el flujo de un fluido en un conducto.

El aceite llega a la tolva de pesaje T002 de importancia vital en esta etapa de acondicionamiento, debido que la tolva posee un sistema de pesaje que permite visualizar el peso de su contenido y más funciones que potencia el proceso productivo. Su descarga se realiza por la parte inferior por medio de la válvula de mariposa V004 hasta llegar a la tercera y última tolva, que se trata de una tolva de salida T003, donde conecta con la corriente principal que se unifica con la de bypass mediante otra válvula V005 de tipo bola, entrando ya en el segundo depósito D002, donde ya el aceite está controlado de manera oficial mediante el pesaje.

Una vez esto, la bomba B002, impulse el aceite hasta hacerlo llegar a un intercambiador de calor de tipo carcasa y tubo, con la finalidad de precalentar la corriente de aceite de oliva lampante, antes de que entre en la atapa de decoloración, ya que en las siguientes etapas los equipos trabajan con temperaturas mucho más elevadas, puesto que si se precalienta antes, se ahorra potencia en los equipos restantes. Para ello, se hace pasar un fluido como el vapor de agua saturado a 30 bar, en contracorriente, consiguiendo que el aceite salga del intercambiador con una temperatura de 95 °C aproximadamente, produciéndose así un salto de temperatura de 75°C.

6.4. Decoloración.

En esta etapa, el objetivo principal es eliminar el color del aceite, y para ello se emplean tierras. Estas son principalmente los carotenos y la clorofila. El aceite se trata con arcilla activada con ácido sulfúrico y/o carbón activo, dependiendo de la resistencia del color. Existen varias alternativas para llevar a cabo la etapa de decoloración:

1. Se puede acudir a procesos de adsorción, esto consiste en usar materiales adsorbentes, como tierras naturales. Estas tierras o arcillas son silicatos de aluminio, como son bentonita, tapulgita y montmorillonita. Son compuestos que poseen cantidades relativamente elevadas de magnesio, calcio ó hierro.
2. En el proceso de decoloración también se puede emplear como adsorbente carbón activo, al igual que en otros procesos de adsorción, pero se utiliza poco debido a su alto coste y el elevado porcentaje de retención de aceite neutro en su superficie.
3. Otra opción, es usar sílices sintéticas, pero son compuestos que resultan más eficientes a la hora de adsorber trazas de fosfátidos y jabones que pigmentos coloreados.
4. Aplicar un tratamiento que consiste en el uso de ácido fosfórico concentrado y un secado a vacío, lo que produce precipitación de impurezas, especialmente de componentes clorofilicos, que serían eliminadas por filtración ó centrifugación.

6.5. Justificación, elección y explicación de alternativa de decoloración.

La alternativa elegida es la primera, ya que la materia que se aplican son tierras naturales ya que la opción 2 supone un alto coste, la opción 3 no resulta tan eficiente y la opción 4 supondría un desglose de más equipos, aumentando el coste y condiciones de operación.

Una vez que el aceite ya ha sido acondicionado, se encuentra a 95°C cuando sale del intercambiador de calor E001, es impulsado mediante una bomba de impulsión de aceite B003, hasta que se encuentra en un divisor, donde el aceite se divide mediante una suposición según fuentes, que consiste en que el 20% de la corriente total de aceite se dirige directamente hacia la decoloradora DEC001, y el 80% del aceite se dirige hacia el mezclador M001 (Ver figura 7-1). Esto es así porque las tierras que son necesarias introducir en el proceso, es necesario que se produzca la mezcla con el aceite previamente antes de llegar a la decoloradora para que en el mezclador agitador, se mezclen perfectamente. La corriente completa de aceite y tierras, pasa a la decoloradora, la cual tendrá en su interior un pequeño agitador para mantener la mezcla perfectamente unificada y se produzca una buena adsorción. El aceite sale de la decoloradora DEC001, y es impulsado por la bomba de engranajes B004 hacia el filtro F001, donde se produce la separación del aceite y de las tierras. En esta etapa los equipos implicados son:

- Un mezclador agitador.
- Un transportador de tomillo sin fin.
- Una decoloradora.
- Un filtro automático autolimpiable.
- Un depósito.
- Dos bombas de impulsión.

6.6. Desodorización.

La desodorización es la última etapa del proceso de refinación física, donde el objetivo final es eliminar los malos olores y grasas que hacen que el aceite no sea apto para el consumo humano. En esta etapa el aceite es sometido a las temperaturas y a un alto al vacío. Uno de los inconvenientes de la desodorización es que, conjuntamente con las sustancias responsables de los olores y sabores no deseados, se eliminan en parte compuestos útiles para la vida media de los aceites y que les comunican propiedades positivas como esteroides. El proceso de desodorización consta de un complejo sistema de destilación al vacío que requiere la utilización de vapor a alta presión para calentar el aceite hasta una temperatura en la cual se evaporan/strippean las impurezas y luego le sigue una etapa de enfriamiento para conservar las propiedades naturales del aceite. Sistemas de vapor a alta presión en circuitos herméticamente cerrados permiten un control estricto de la temperatura a lo largo del tiempo.

Existen varias alternativas para desarrollar esta etapa, desde el punto de vista para el proceso que ocurre en el desodorizador:

1. Desde el punto de vista del desodorizador, para la eliminación de ácidos grasos libres, se introduce el aceite y con la ayuda de vapor saturado a distinta presión, produce una destilación, la cual los vapores destilados de salida salen con la corriente de ácidos grasos. Esto se puede conseguir mediante una torre de relleno, entrando en una tecnología que se conoce como Thin-Film (Figura 6-3). En este caso se necesita buscar rellenos especializados para la desodorización del aceite y es necesario un equipo distribuidor del aceite por toda la sección para que no tomen caminos diferentes.

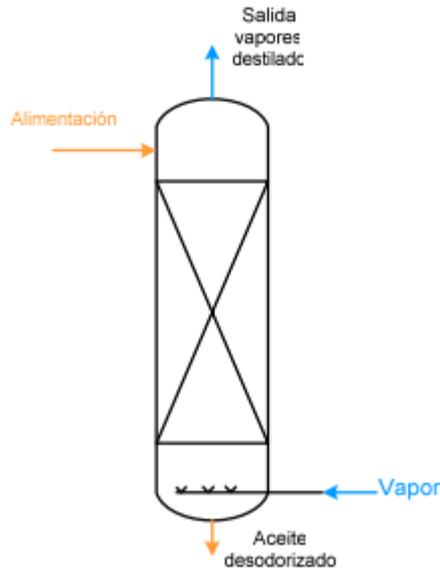


Figura 6-3. Torre de relleno.

2. Mediante una columna de platos donde se busca la máxima transferencia y contacto entre el líquido y el vapor, esta forma era habitual con platos perforados como se observa en la figura 6-4.

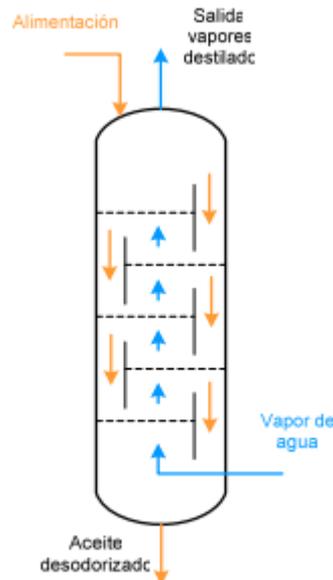


Figura 6-4. Columna de platos.

Como se puede observar, el aceite entra como alimentación, y sale como aceite desodorizado para conseguir esto es necesario introducir vapor de agua a una temperatura considerable para que arrastre los ácidos grasos libres y salgan ambos por la corriente de salida, llevándose una cantidad de aceite considerable como pérdidas. Presenta una gran pérdida de carga por el vapor que pasa por los orificios de los platos perforados, produce una gran pérdida de la presión a vacío que es completamente necesaria en el proceso.

3. Mediante columna en bandejas, que suele ser un método muy empleado. En el interior de la columna hay una serie de bandejas que producen pulverizado, donde el aceite permanece un tiempo de residencia determinado y en su interior se produce la inyección de vapor. Se da mayor contacto entre ambas fases y también existe una conducción central que hace que la pérdida de carga disminuya considerablemente. (Ver figura 6-5).

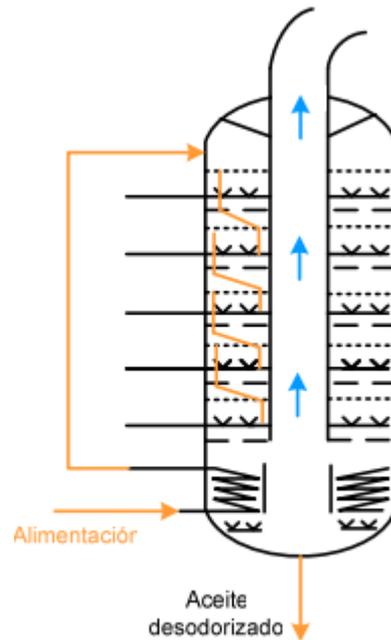


Figura 6-5. Columna en bandejas.

Respecto al estudio de análisis de alternativas para el desgasificador, existen:

1. El desgasificador es un equipo que actúa como intercambiador de calor, pero normalmente actúa con vapor.
2. Usar el desgasificador como si fuera un intercambiador de calor entre aceite caliente y aceite más frío, en esta alternativa se optimiza el proceso ya que aprovechando el aceite caliente que sale a alta temperatura del desodorizador y es necesario enfriarlo, se consigue calentar el aceite que se dirige hacia ese equipo.

6.7. Justificación, elección y explicación de alternativa de desodorización.

La alternativa elegida para la realización de esta etapa del proceso es la número 3 respecto del desodorizador, donde se inyecta el vapor y el equipo consta de bandejas en su interior, ya que existe un gran contacto entre ambas fases, consiguiendo así una gran transferencia de materia. Además, disminuye la pérdida de carga.

La desodorización es la última etapa del proceso de refinación del aceite para conseguir que sea apto para el consumo humano. Una vez, el aceite se encuentra en esta etapa ya se ha acondicionado y ha perdido su color mediante las tierras. Esta etapa consiste en la destilación simple, en donde se eliminan los ácidos grasos libres lo que supone que con esa corriente eliminada se pierde un porcentaje de aceite. Presenta como desventaja tener condiciones de operación con temperaturas elevadas, algunos compuestos que son beneficiarios son eliminados como por ejemplo los carotenoides. Para llevar a cabo el proceso, el aceite cuando sale de la etapa de decoloración, es impulsado mediante la bomba de impulsión de aceite de engranajes para su comienzo en esta última etapa hasta llevarlo a un depósito de paso, en caso de que hubiese algún error en mitad del proceso existen depósitos de almacenaje. Del depósito D003 es impulsado hasta un intercambiador de calor entre el aceite entrante y el aceite saliente, siendo un intercambiador de carcasa y tubo E002 y su posterior entrada en el desgasificador, que como se plantea en las alternativas, se usa el desgasificador como si fuera un intercambiador, ya que normalmente este equipo funciona con vapor pero en este caso como sale el aceite del desodorizador a unas temperaturas muy elevadas y es necesario bajar esa temperatura para su posterior almacenaje y venta al consumidor, se aprovecha la corriente saliente del desodorizador de aceite desodorizado caliente para usarlo como fluido caliente en el desgasificador y así optimizar el proceso, así como la reducción del coste ya que se evita más consumo de vapor.[13]

El aceite saliente del desgasificador a una temperatura moderada vuelve a ser sometido a otro calentamiento mediante un intercambiador de carcasa y tubo E003, con una corriente de vapor saturado a 30 bar, consiguiendo así las condiciones necesarias para la entrada en el desodorizador a temperaturas altas aproximadamente de 210 °C.

La desodorización consiste en una inyección de vapor que genera una destilación, por eso se aplica la corriente 46 como se puede observar en la figura 7-1, del diagrama de procesos, donde se inyecta el vapor a una presión de 30 bar, y con la corriente de malos olores, se suman los vapores del gas y un porcentaje determinado de aceite que se pierde. El aceite desodorizado sale a una temperatura más elevada a la que entra, aproximadamente 260 °C y va directa la corriente hacia el desgasificador para aprovechar el calor en precalentar el aceite que entra en el desgasificador. Una vez el aceite pasa por el desgasificador y por el intercambiador de calor E002, pasa a un cuarto intercambiador donde el intercambio se realiza con agua de refrigeración con el objetivo de enfriar el aceite para conseguir las condiciones de almacenamiento adecuadas. El aceite de oliva refinado se almacena en el depósito D004 del diagrama de la figura 7-1, se aplica la misma metodología que al comienzo del proceso, es decir, a través de un divisor, donde se encuentra un bypass y otra principal donde se encuentra las tolvas en serie, de recepción, de pesaje y de salida, con la finalidad de llevar el control de la cantidad.

Respecto esta etapa del proceso, el factor tiempo influye mucho en el resultado final. Se detallará en el capítulo 7 de memoria de cálculo, pero en términos generales en cuanto menos tiempo se encuentre los ácidos grasos en el desodorizador de mayor calidad será el aceite. Los equipos participantes en esta última etapa son:

- Dos bombas de engranajes.
- Tres intercambiadores de calor.
- Un desgasificador.
- Un desodorizador.
- Tres tolvas.
- Un depósito.
- Dos válvulas de bola.
- Dos válvulas de mariposa.
- Una valvula de aguja.

6.8. Elección de equipos y base de funcionamiento.

Le elección de equipos así como su justificación, son muy importantes en el diseño de una planta. En los siguientes apartados se detallan cada uno de los equipos aplicados en el proceso, su funcionamiento y su justificación.

6.9. Depósito de recepción, D001.

El primer depósito de llegada, con la nomenclatura del diagrama de la figura 7-1 como D001, se trata de un recipiente donde se almacena el aceite de oliva lampante recibido de la almazara. El depósito es una instalación que junto con los equipos de almacenaje, de manipulación, medios humanos y de gestión, permite regular las diferencias entre los flujos de entrada y de salida. Estos flujos tanto de entrada como de salida no suelen estar coordinados entre sí, por eso es tan importante tener depósitos de almacenamiento.

- Capacidad de depósito: 470 t de aceite de oliva lampante.
- Tipo de depósito: se trata de un depósito de acero inoxidable, el cuál debe de mantener la temperatura del aceite en las condiciones ambientales en las que viene, recogidas en la tabla 7-2.



Figura 6-6. Depósito industrial de almacenamiento.

6.10. Bombas de impulsión.[14]

Bomba, B001, es el equipo encargado de impulsar mediante un motor el aceite que llega y se encuentra almacenado en el depósito D001 hasta las tolvas y el siguiente depósito de la planta.

- Funcionamiento de la bomba: es un dispositivo mecánico que transfiere fluidos transformando en energía hidráulica la energía suministrada por un motor. El primer criterio para elegir una bomba es, sin duda, el tipo de fluido. El tipo de fluido que habrá que transferir juega un papel muy importante en la elección de una bomba, ya que las características de la bomba dependerán principalmente de la viscosidad, es decir, de la resistencia que pone el fluido a su paso. En contrapartida, el parámetro más importante del aceite es la viscosidad por lo que juega un papel muy importante a la hora de decidir qué tipo de bomba se va a usar.
- Tipo de bomba: La bomba que hay que elegir en función a este parámetro va a ser una bomba especializada para fluidos como el aceite, en este caso se elige la bomba de engranajes, que consiste en un equipo formado por dos engranajes encerrados en un alojamiento muy cercano entre sí. La bomba a través de sus engranajes transforma la energía de rotación en energía hidráulica para desplazar el aceite. Este tipo de bombas basan su funcionamiento en el aprovechamiento de la fuerza de sus engranajes para transferir fluidos. La bomba está formada por dos engranajes, que actúan con la carcasa de la bomba, creando una fuerza de succión en la entrada que hace que el fluido sea aspirado. Una vez el fluido esté dentro de la carcasa no puede pasar entre los engranajes porque están entrelazados entre sí (Ver figura 6-7).

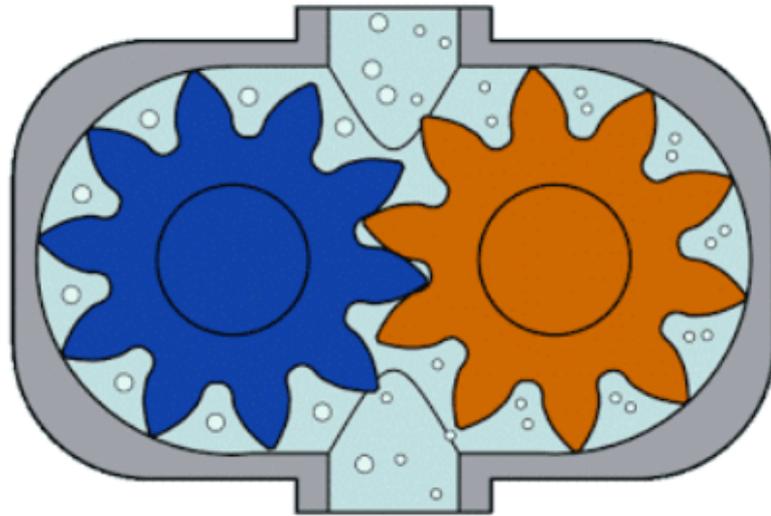


Figura 6-7. Bomba de engranajes.

La bomba de engranajes son un tipo de bombas industriales especialmente utilizadas para el bombeo de fluidos con un elevado grado de viscosidad, ó que puedan resultar nocivos para el ambiente debido a su composición. En este caso, la elección es debido al grado elevado de viscosidad. Son bombas caracterizadas por ser desplazamiento positivo, es decir, por guiar al fluido a lo largo de toda la instalación, manteniendo un flujo suave proporcional a la velocidad a la que giran sus engranajes ó ruedas delanteras. [15]

6.11. Válvulas.[16]

Las válvulas de la planta industrial pueden ser de diferentes tipos según la finalidad que tengan como objetivo. Las válvulas se pueden definir como un aparato mecánico con el cuál se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos ó gases mediante una pieza movible que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno ó más orifices o conductos. Las válvulas son unos de los instrumentos de más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.

Debido a las diferentes variables, no puede haber una válvula universal. Por tanto, para satisfacer los cambiantes requisitos de la industria se han creado innumerables diseños y variantes con el paso de los años, conforme se han desarrollado nuevos materiales. Todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas de macho, válvulas de retención y válvulas de desahogo, también conocida como la de alivio.

6.12. Válvula de bypass.

La bomba B001 impulsa el aceite hasta llegar a un punto que se divide en dos ramales como se puede observar en la figura 7-1 en el diagrama de procesos. Lo cierto es que el ramal de la izquierda posee un bypass, por lo tanto la valvula V002, es una valvula de bypass, cuyo objetivo principal es tener de alternativa en el caso de que el pesaje se estrope.

➤ Tipo de válvula: El uso de una válvula de bypass reduce enormemente el grado de suciedad en

la válvula reguladora mediante la descarga directa externa de la presión, disminuyendo así significativamente los ciclos 8 de limpieza para el mantenimiento. La válvula elegida para este proceso es la válvula de aguja. (Ver figura 6-8).



Figura 6-8. Válvula de aguja.

6.13. Válvulas de bola.[17]

- Tipo de válvula: Las válvulas V001 y V005 son válvulas de bola ó también conocidas como esféricas, son conocidas así debido a que en su interior poseen una bola o esfera con perforaciones para permitir el paso del fluido. La justificación de la elección es debido a que es un tipo de válvula recomendada para servicio de conducción y corte, sin estrangulación, para una apertura rápida, para temperaturas moderadas y cuando se necesita que no se aplique resistencia mínima a la circulación del fluido, por lo que si el aceite es viscoso por sí solo, no interesaría otra válvula que opusiera más resistencia. este tipo de válvulas presenta ventajas como que supone un bajo costo, alta capacidad, corte bidireccional, circulación en línea recta, pocas fugas lo que es importante ya que mantiene el caudal del fluido, se limpia por sí solas lo cual es un motivo para que sea una válvula barata, además tiene un tamaño compacto y tiene un cierre hermético.
- Funcionamiento: Las válvulas de bola son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto como se observa en la figura 6-9.

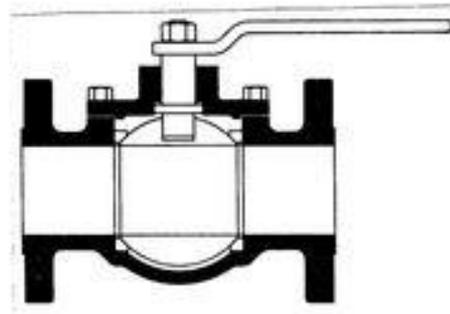


Figura 6-9. Válvula de bola.

Algunas desventajas que posee este tipo de válvula son:

- Posee características deficientes para la estrangulación, es decir, no son efectivas para controlar ó regular la velocidad del fluido.
- Alta torsión para accionarla, es decir, es necesario aplicar un momento de fuerza sobre el eje longitudinal de una pieza.
- Es susceptible al desgaste de sellos ó empaquetaduras. Los sellos en las válvulas son una característica

importante porque controla la lubricación del vástago de la válvula a medida que se desliza en la guía de la válvula. Si existe desgaste supone un mal control y necesita más caudal de aceite. Este desgaste puede ser producido por exceso de aceite, provocando daños en el asiento de la válvula.

- Es propensa a la cavitación. La cavitación es un fenómeno que ocurre en líquidos, se trata de un fenómeno hidrodinámico y supone una preocupación en el sector de las válvulas de control porque disminuyen el caudal que puede pasar a través de las válvulas de control y generan ruido, vibraciones y daños materiales en la instalación.

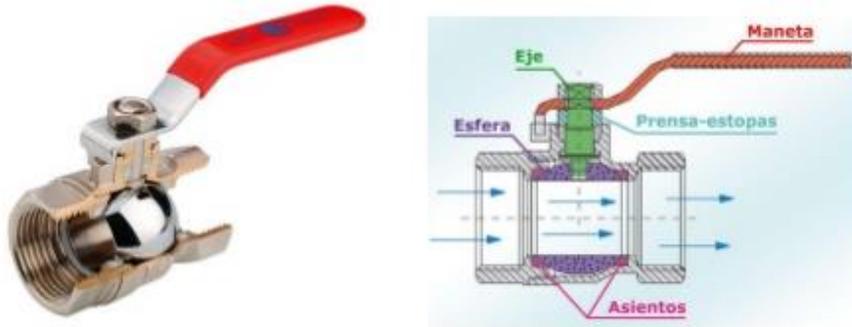


Figura 6-10. Válvula de bola y sus partes.

- Materiales: Los materiales de los que está formada la válvula son para el cuerpo recomienda hierro fundido, bronce, aluminio, aceros inoxidables, plásticos de polipropileno y pvc. En este caso se usa de acero inoxidable, debido a que las válvulas de acero inoxidable tienen una alta resistencia a la corrosión al estar recubiertas por una capa protectora extremadamente delgada, invisible y muy estable. El asiento puede ser de materiales como Nylon, neoprene (ver figura 6-10).

6.14. Válvulas de mariposa.[18]

Las válvulas de mariposa son un tipo que se utilizan para permitir o evitar el paso y en muchas de las aplicaciones de productos líquidos en la industria química, farmacéutica y alimentaria. La válvula de mariposa destacan por algunas características como son:

- Es un tipo de válvula adaptable a las variadas necesidades de la industria en tamaños, presiones, temperatura, conexiones, etc.
- Son válvulas que pueden accionarse manualmente o automáticamente. Para accionar automáticamente, se puede emplear un actuador eléctrico, que es más lento que usando la segunda alternativa haciéndolo manualmente, que es mucho más rápido.
- Tienen mínima pérdida de carga gracias a su cerrado hermético.
- No son válvulas muy luminosas, lo que las hace más ligeras.
- La instalación puede ser realizada por una persona.
 - Funcionamiento: de forma general, el funcionamiento interior de las válvulas de mariposa, se basa en un asiento y un disco metálico que abren y cierran el paso de los fluidos. Basta con una rotación de 90° del disco para que la válvula abra completamente (Ver figura 6-11).

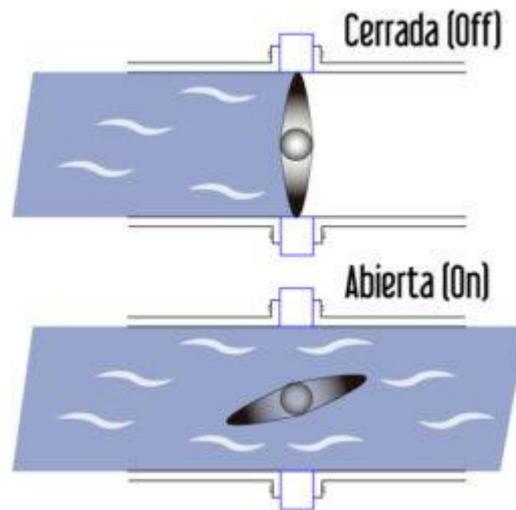


Figura 6-11. Funcionamiento válvula de mariposa.

Pueden estar preparadas para tolerar cualquier tipo de estado: gas, líquido, e incluso sólido. Al contrario que las válvulas de bola, de compuerta o globo, que impiden la correcta operación de la válvula, ya que en las de mariposa no existen cavidades o huecos donde se puedan acumular sólidos. En las válvulas de mariposa, la temperatura y la presión son factores que van relacionados: Si la temperatura aumenta estando a una misma presión, el rendimiento de la válvula bajará. Lo que la diferencia también de las válvulas de bola, de compuerta y globo, que sí pueden resistir a grandes presiones y altas temperaturas (Figura 6-12).



Figura 6-12. Válvula de mariposa.

6.15. Tolvas.

La tolva, es un equipo industrial con forma de cono invertido que presenta una apertura en la zona inferior para la salida de material, el cual es almacenado en su interior, el material es la materia prima que en este caso se trata de aceite de oliva lampante. De esta forma, tiene la capacidad de almacenar, moler, triturar, disolver e incluso dosificar materiales en función del tipo de tolva que sea.

En cuanto al tipo de industria en la cual más extendido está su uso, a pesar de ser un dispositivo muy útil para multitud de materiales, tareas y sectores, suele ser más común en el sector agrícola. En dicho sector, está considerada como maquinaria esencial para la fertilización y sembrado agrícola, por lo que su demanda es muy alta.[19]



Figura 6-13. Conjunto en serie de tolvas industriales.

6.16. Tolvas de recepción.

La tolva de recepción es un tipo de tolva pero con la peculiaridad que es la primera que se tiene disponible. Este tipo de tolva recibe la materia prima, en este caso, el aceite de oliva lampante. Son tolvas de bajo mantenimiento, normalmente son fabricadas de acero inoxidable. También pueden ser utilizadas como punto de acumulación intermedio en una línea de procesado, sirviendo como punto de regulación. (Figura 6-13).

6.17. Tolvas de pesaje.

Las tolvas de pesaje son los equipos industriales que se sitúan después de la tolva de recepción consiguiendo así una correcta dosificación y evitando pérdidas y daños al aceite. Este tipo de tolva se caracteriza porque poseen un control exacto y preciso del producto recibido, almacenado y entregado. El sistema de pesaje le permite visualizar el peso que tiene su contenido y una gran variedad de funciones importantes que potencian sus procesos productivos. Para conocer el peso de la tolva es necesario conocer el peso del producto que posee en su interior puesto que determina la capacidad máxima. Es importante no tener conexiones rígidas en la parte exterior de la tolva porque limitarían la precisión del sistema de pesaje de ésta. Algunos factores que hay que tener en cuenta para la selección de los componentes del sistema, celdas de carga e indicador de carga son el tipo de ambiente, si el producto es corrosivo, húmedo o si tiene riesgo de explosión. El sistema de pesaje puede tener diferentes funcionalidades, las cuales hay que definir (figura 6-13).

6.18. Tolvas de salida.

La tolva de salida es otro tipo de tolva, es decir, un depósito donde ya ha pasado el aceite por la tolva de recepción y por la de pesaje, por lo que se tiene un control exacto y preciso de la cantidad de aceite de oliva lampante que está entrando. Una vez llega aquí el fluido, su función es realizar la descarga para conectarlo al proceso (ver

figura 6-13).

6.19. Silo de tierras.

El silo S001, es el encargado de tener almacenado las tierras y realizar la descarga por su zona inferior hacia un mezclador ayudado de un agitador, para su completa mezcla con el aceite.

- **Funcionamiento del silo:** Un silo es una estructura diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel. Pueden usarse en distintas industrias, pero son principalmente diseñados para la industria agrícola. Los tipos más comunes tienen forma cilíndrica en forma de torre, pero existen diferentes clases que se diferencian de manera general por su forma. Otra diferencia que caracteriza los distintos tipos de silos es el material, con el que están contruidos, que suele determinar el límite de su almacenamiento, periodo de vida útil, mantenimiento y qué productos pueden almacenarse en su interior.
- **Tipo de silo:** el silo elegido para este caso es un silo de tipo cónico, ya que este tipo de silos destacan por ser comunes en el almacenamiento de sal ó arena. Se usan mucho para almacenar material seco y que no se vea afectado por la humedad del ambiente. Cada tipo de silo debe cumplir con ciertas características, ya que no solo se trata de almacenar el grano o los productos, sino que debe evitar la formación de insectos, mantener los productos secos o en la humedad necesaria para su adecuada conservación, que los productos agrícolas no se fermenten, a excepción de los diseñados para ese fin. Dependiendo si cumplen o no estas características, los silos se clasifican en diversos niveles, entre más bajo el nivel menos seguros son para el almacenaje, por lo que deben ser sustituidos.
- **Partes del silo:** todos los silos están formados por algunas partes como se pueden ver y desarrollar en la figura 6-14.



Figura 6-14. Partes de un silo industrial.

1. Barandilla: es un elemento del equipo, un barandal superior cuyo fin es proporcionar seguridad.
2. Válvula de sobrepresión-depresión: es una válvula, cuyo objetivo es controlar la presión en caso de que sea sobrepresión ó la depresión. Son válvulas idóneas para salvaguardar los recipientes en las fases de carga y descarga de la tierra en el silo.

3. Filtro de mangas: es un dispositivo para la separación de partículas sólidas en suspensión de una corriente gaseosa. Son dispositivos usados en instalaciones industriales como una alternativa a los precipitadores electrostáticos.
4. Nivel de paletas rotativas: La función de los sensores de nivel de paleta rotativa es detectar la presencia de material sólido y polvo en tanques, tolvas y contenedores de diferente tipo y tamaño. El sensor se monta en el exterior en la posición donde se requiere tener la señal de alarma.
5. Escalera de protección: es jaula de protección, fabricada en tubo y chapa galvanizada. Supone un elemento de seguridad para la escalera.
6. Tubo de carga: orificio por donde transcurre materia.
7. Rompebóvedas dosificador: son un sistema mecánico de descarga bajo silo que permiten una dosificación precisa de sólidos pulverulentos. Los rompebóvedas son adaptables a silos nuevos o existentes. El dosificador permite el transporte del producto en polvo hasta el punto de dosificación. Un rompebóvedas puede estar equipado de varios dosificadores rígidos o flexibles en función de las necesidades de cada cliente. La unión del rompebóvedas y dosificador en un único equipo compacto dotan al sistema de mayor estanqueidad. Además, la no necesidad de incorporar inyección de aire o vibración limitan los posibles escapes de producto.
8. Células de pesaje: es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible. Se instalan normalmente bajo una estructura (contenedor, silo, etc.) que se carga con un peso desde arriba y que a menudo se diseñan para cargas más altas.

6.20. Mezclador con agitador.

El mezclador es un depósito, que como la palabra dice, se encarga de mezclar diferentes corrientes, por lo que no destaca realmente más allá de que tiene prácticamente el mismo funcionamiento que un depósito. La curiosidad recae sobre el agitador, ya que actualmente existen mezcladores agitadores, que es una mezcla de los dos. En el diagrama de proceso, de la figura 7-1, se puede observar como un 80% del aceite va destinado al mezclador M001 y se agita con las tierras correspondientes (Figura 6-15).[20]

- Tipo de equipo: Los agitadores industriales son equipos utilizados de forma habitual en instalaciones en las que existen depósitos o tanques de proceso para líquidos y en los que se requiere de un movimiento rotatorio dentro del recipiente para la implementación de diversos procesos físicos. Son utilizados en tanques mezcladores o reactores. Generalmente los equipos de agitación consisten en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto) y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico.[21]

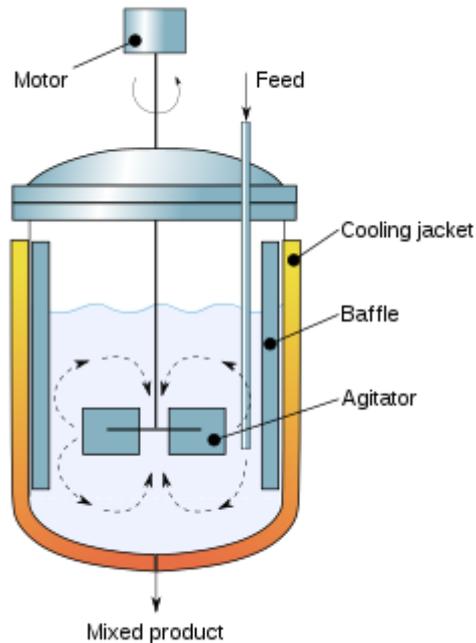


Figura 6-15. Mezclador con agitador y sus partes.

- **Funcionamiento y componentes:** Un agitador se compone de un motor eléctrico, que es el encargado de determinar la velocidad de rotación en función de su potencia y de su rpm, reproducciones por minuto. Puede disponer además, de un variador de frecuencia para regular las revoluciones. En función del dimensionado del tanque, el eje deberá tener una longitud y diámetro determinados para evitar vibraciones indeseadas. En algunos casos es necesario el uso de una guía inferior, colocada en el fondo inferior del depósito, para evitar este problema. El cierre mecánico es el elemento que permite la estanqueidad del depósito para permitir la entrada del eje y que no existan fugas. Respecto las hélices, con ellas podemos conseguir generar corrientes paralelas al eje del agitador, así como corrientes en dirección tangencial o radial.
- **Ventajas:** algunas ventajas que destacan por la presencia del agitador son:
 - Mezclado de líquidos miscibles.
 - Suspensión de partículas sólidas.
 - Disolución de productos sólidos en un líquido.
 - Dispersión de un gas en un líquido en forma de pequeñas burbujas.
 - Facilitar la transferencia de calor entre el líquido y un serpentín o encamisado.

6.21. Tornillo sin fin.[22]

El tornillo sin fin es el encargado de transportar la corriente de descarga del mezclador agitador hacia la decoloradora. Uno de los principales y más usados mecanismos de transmisión en cualquier proyecto mecánico

- **Tipo:** son transportadores, es decir, son máquinas de transporte continuo e material mediante una espiral basado en el principio de Arquímedes. Tienen la posibilidad de trabajar en diferentes ángulos desde la

horizontal hasta la vertical, siempre y cuando sea adaptado para tal fin. Diseñados para transportar cualquier tipo de material bien residuos orgánicos en el tratamiento de aguas, transporte de sólidos en infinidad de industrias y aplicaciones de toda índole, son equipos los cuales se diseñan según necesidades: tipo material a transportar, inclinación, caudal a transportar, velocidad de translación de los materiales, etc.

- **Funcionamiento:** El transportador se pone en funcionamiento a través del sistema motor que consta de un reductor y le suministra el movimiento al tornillo sin fin de alas helicoidales el cual va montado en cojinetes y chumaceras, en dependencia de la longitud del mismo hasta 50 m máxima tendrá cojinetes intermedios que funcionaran como puntos a apoyo para evitar flexiones o la distorsión de la espiral. La carga se realizara por un extremo en la parte superior y la descarga se realizara por la parte inferior del otro extremo (Figura 6-16).



Figura 6-16. Transportador de tornillo sin fin.

- **Ventajas:** algunas ventajas que proporciona este tipo de equipo industrial son:
 - Son compactos.
 - Diseño modular, de fácil instalación.
 - Soportes y apoyos simples.
 - Soportan altas temperaturas.
 - Tienen varias zonas de carga y descarga.
- **Partes del equipo:** Los transportadores de tornillo sin fin constan de diferentes partes componentes que permiten el funcionamiento de los mismos, a continuación se desarrollan:
 - **Estructura:** Son de fácil de diseño y se construyen de dos formas teniendo en cuenta la clasificación de los mismos. Unida a esta estructura está los soportes que permiten la fijación del transportador a la superficie de trabajo.
 - **Tornillo sin fin:** es el element principal de los transportadores de tornillo sin fin, son los encargados de la transportación de carga y se pueden construir de diferentes maneras dependiendo del tipo de material que se va a transportar, de las condiciones de trabajo y del ángulo de inclinación.
 - **Sistema de transmisión:** el sistema de transmisión está formado por un sistema de motor reductor, que es el encargado de suministrar la potencia necesaria para el movimiento del tornillo sin fin.

6.22. Decoloradora.

Se trata de un depósito donde se trata la mezcla de aceite y de tierras, una vez han sido mezclados y agitados en el equipo anterior. La decoloradora no es un equipo que exista como tal, sino que se puede definir como depósito de decoloración. En el depósito, es importante mantener el tiempo de contacto y se hace pasar vapor saturado en su interior mediante un serpentín para mantener la temperatura. [23]

6.23. Intercambiador de calor.[24]

Los intercambiadores de calor que aparecen en la planta son de intercambio de calor entre aceite y vapor saturado, entre aceite y aceite, y entre aceite y agua de refrigeración.

- Tipo: Los intercambiadores de calor son dispositivos cuya función es transferir el calor de un fluido a otro de menor temperatura. La transferencia de calor se produce a través de una placa metálica o tubo que favorezca el intercambio entre fluidos sin que estos se mezclen. El tipo de intercambiador de calor es carcasa y tubo, la elección de este tipo de intercambiadores es debida a que además de que son el tipo más usado en la industria, son equipos que permiten transferir mayores cantidades de calor. Se adaptan a flujos monofásicos y bifásicos, altas y bajas presiones, altas y bajas temperaturas y fluidos corrosivos o no. Son además compactos y eficientes, y sus altas velocidades mejoran la velocidad de transferencia del calor (ver figura 6-17).

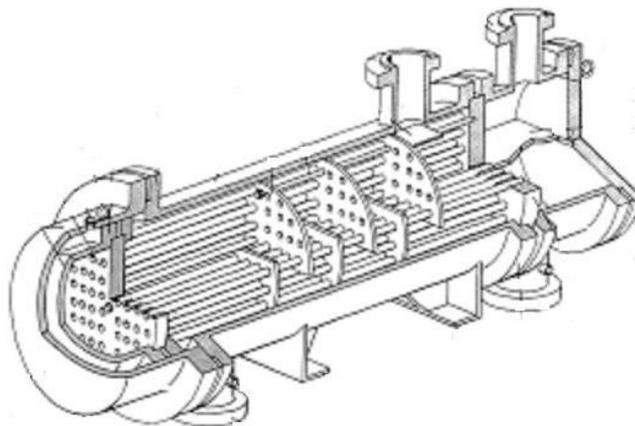


Figura 6-17. Intercambiador de calor de carcasa y tubo.

- Funcionamiento: Consiste en una carcasa cilíndrica que contiene un arreglo de tubos paralelo al eje longitudinal de la carcasa. Los tubos pueden o no tener aletas y están sujetos en cada extremo por láminas perforadas. Estos atraviesan a su vez una serie de láminas denominadas deflectores, que al ser distribuidas a lo largo de toda la carcasa, sirven para soportar los tubos y dirigir el flujo que circula por la misma, de tal forma que la dirección del fluido sea siempre perpendicular a los tubos. El fluido que va por dentro de los tubos es dirigido por unos ductos especiales conocidos como cabezales o canales. Como se puede observar en la figura 6-18, existe un fluido caliente en contracorriente con otro fluido frío. De este modo, se consigue enfriar una y/o calentar otra corriente, según sea el interés en un momento determinado.

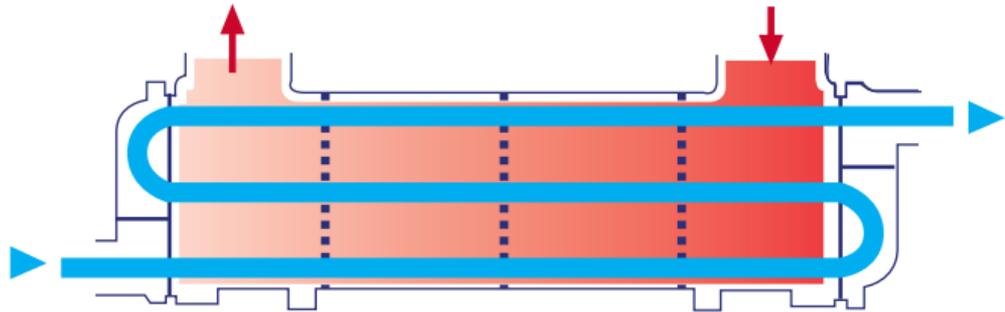


Figura 6-18. Funcionamiento de un intercambiador de carcasa y tubo.

El principio de funcionamiento consiste en que para operar, el intercambiador de calor tiene redes paralelas a través de las cuales fluyen los fluidos a diferentes temperaturas. Es la diferencia de temperatura entre los dos fluidos lo que permite el intercambio de calor. De hecho, los más calientes irán naturalmente a los más fríos, calentándose de inmediato y perdiendo calorías. Por lo tanto, cuando entra caliente al intercambiador de calor, el fluido primario calentará el fluido secundario que está frío. Luego se deja enfriado, mientras que el segundo fluido se calienta.

Los fluidos están separados por una pared con capacidades conductoras óptimas, por ello es muy importante el material que se use. Por tanto, cuanto más conductor sea el material, mayor será el intercambio de calor óptimo y efectivo. Entre los materiales más utilizados, encontramos:

- Cobre.
- Acero inoxidable.
- Aluminio.
- Acero.

Cuanto más bajas son las pérdidas térmicas, mayor es la eficiencia del intercambiador de calor. Por este motivo, es muy importante que el material utilizado en el diseño sea lo más conductor posible.

6.24. Filtro.[25]

En el proceso industrial del aceite de oliva refinado se trata con un fluido que es el aceite, que destaca por su enorme viscosidad y este factor es determinante en el mundo de la filtración de procesos. En este tipo de proceso se suelen usar dos tipos de filtros.

- Tipo de equipo: el tipo de equipo seleccionado para llevar a cabo la función, es un filtro auto limpiantes de aceites. Se tartan de equipos automáticos que ofrecen una operación fiable e ininterrumpida y en condiciones cerradas. Se realiza una limpieza de fluido con un rendimiento altamente eficiente. Además, gracias al sistema de limpieza que tienen permite mantener bajo los costes de servicio y evitar pérdidas de producción (Figura 6-19).



Figura 6-19. Filtro automático autolimpiable.

- **Funcionamiento:** el medio fluye a través de un filtro desde fuera hacia dentro ó viceversa. Al atravesar el filtro, se quedan retenidas las partículas contaminantes, en este caso las tierras que al ser material adsorbente se llevan con ellas los componentes del aceite quitándole a éste su color inicial. El aceite filtrado y limpio sale por la salida del filtro, mientras que la corriente de partículas contaminantes se eliminan por otra corriente. Al alcanzarse un valor de presión diferencial determinado, el indicador de presión diferencial transmite una señal a la unidad de control y activa automáticamente el proceso de lavado a contracorriente. Durante el lavado a contracorriente, se aclara el filtro eliminando las partículas contaminantes mediante contracorriente (Figura 6-20).

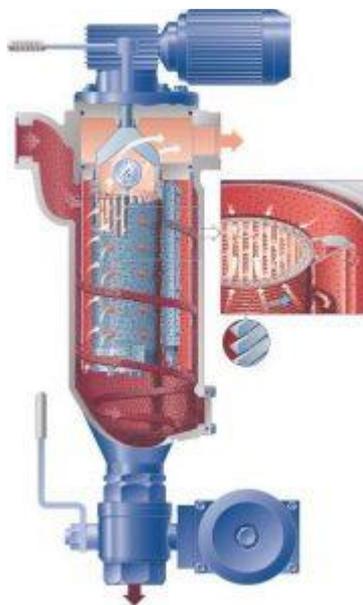


Figura 6-20. Funcionamiento filtro automático.

6.25. Desgasificador.

El desgasificador del proceso actúa como un intercambiador entre aceite frío y aceite caliente.

- **Tipo de equipo:** las desgasificadoras son máquinas especializadas en desgasificación y secado de aceite y generación de vacío. También son máquinas especializadas en recirculación de

fluido aislante y eliminación de humedad. (Figura 6-21).[26]



Figura 6-21. Desgasificador.

- **Funcionamiento:** Un desgasificador puede consistir en un sistema de bombeo por vacío, un sistema de destilación, dispositivos para calentar y agitar los disolventes. Su principal función es la eliminación del aire y otros gases disueltos, el oxígeno principalmente, evitando así problemas de oxidación e impidiendo que esta fase gaseosa absorba parte del calor destinado al producto durante el calentamiento posterior, con la que la efectividad térmica no se vea afectada. El proceso del desaireador permite distribuir el producto en forma de película delgada a través de un disco giratorio, de forma que las burbujas resultan expandidas y son aspiradas por una bomba de vacío, eliminándose así las mínimas oclusiones. El desaireador permite trabajar de forma continuada o por partidas separadas, según el tipo de producto a procesar. el aceite térmico ingresa y en esta entrada se produce de forma tangencial, creando una circulación del fluido en la que, gracias a la fuerza centrífuga, se libera del aire y los vapores. A partir de aquí, estos elementos gaseosos se extraen a través de un tubo de venteo al interior del tanque donde, a continuación, se produce el venteo con la atmósfera de la manera convencional.
- **Ventajas:** algunas ventajas que presentan este tipo de equipos son:
 - Incremento de la estabilidad química al impedir su oxidación, enranciamiento, alteración del Ph.
 - Aumento de la vida de los productos.
 - Aceleración en la obtención de ciertos tipos de emulsiones.
 - Mayor precisión en la dosificación del envasado.
 - Reducción del tamaño del envase.

6.26. Desodorizador.

Es un equipo que lleva a cabo una destilación neutralizante, es decir, tiene como objetivo eliminar las grasas no comestibles del aceite que le proporcionan olores y sabores que hacen que no sea apto para el consumo humano directo.

- **Tipo de equipo:** se trata de un destilador para aceite como fluido junto con el vapor a 30 bar

(Ver figura 6-22).



Figura 6-22. Desodorizador industrial.

- Funcionamiento: en el mismo equipo desodorizador se produce un calentamiento de la alimentación hasta la temperatura de la alimentación hasta su temperatura de ebullición y su posterior evaporación, en la que la corriente de gas arrastra los ácidos grasos libres. En los casos en los que el aceite no ha conseguido la temperatura requerida, se puede disponer de una resistencia.[26]

6.27. Controladores.

La implantación de un buen sistema de control es fundamental en la industria química en la que se producen multitud de procesos. Un sistema de control está definido como un sistema de regulación automático en el que la salida es una variable que se puede medir y puede ser temperatura, caudal, pH entre muchas variables. Estos presentan un sistema de control automático realimentado. La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la de realimentación (que puede ser la señal de salida o una función de la misma), entra al detector o control de manera que para reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado. Como se observa en la figura 6-24, en la entrada se encuentra un controlador el cual posee un set point, es decir, el punto de consigna o referencia y va al proceso hasta la salida donde se tiene un medidor de la variable, enviándole una señal al controlador en caso de que existiera error. Las variables a controlar son la temperaturas de salida del aceite de los intercambiadores mediante un set point que establece un nivel fijo, el cuál no se puede superar ni tampoco conseguir una temperatura baja. Cada una de las temperaturas, vienen recogidas en las tablas 7-1, 7-2, 7-3 y 7-4. [27]

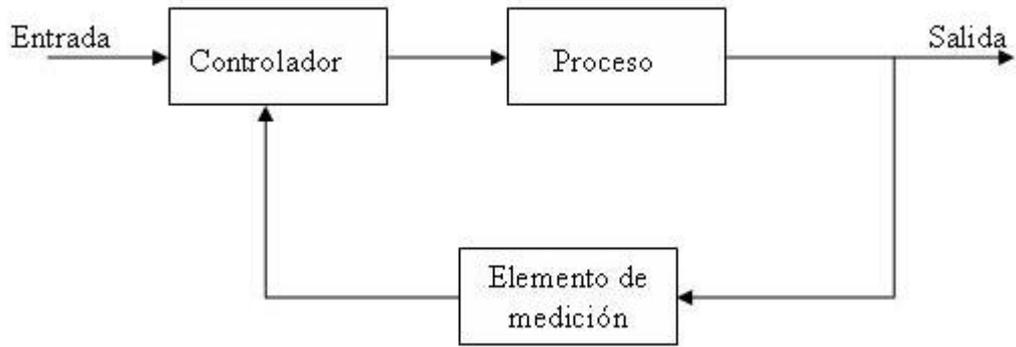


Figura 6-23. Sistema de control en lazo cerrado.

El sistema de control elegido para el proceso de producción de aceite de oliva refinado ha sido un control en cascada, esto consiste en una configuración donde la salida de un controlador de realimentación es el punto de ajuste para otro controlador de realimentación. El control de cascada involucra sistemas de control de retroalimentación o circuitos que estén ordenados uno dentro del otro (Figura 6-23).

Esto consiste en controlar la temperatura a la salida de determinadas corrientes y en función si cumple con la condición manda una señal al controlador de caudal donde posee una válvula de control, que cerrará o abrirá en función de la señal que llegue. Por ejemplo, si la temperatura que se detecta a la salida del intercambiador del aceite es muy baja y necesita subirla, se manda una señal al controlador y abre la válvula inyectando más caudal de vapor (Figura 6-24). Aunque en el digrama general del proceso de la figura 7-1, no aparece el transmisor de temperatura, si se analiza más en concreto, es el sensor que transmite la señal al controlador.

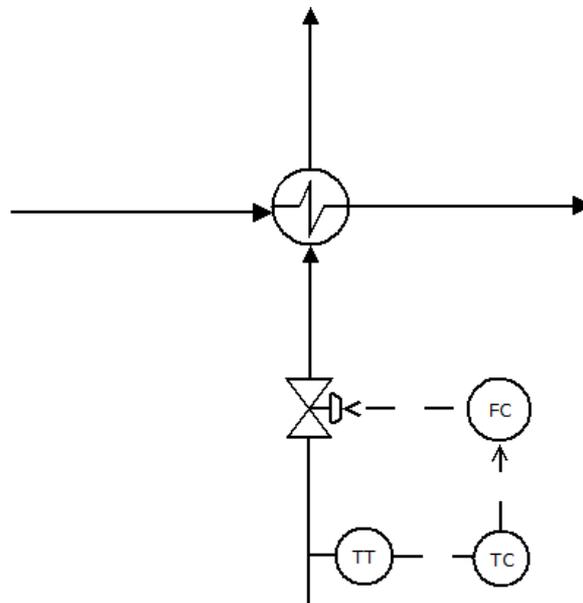


Figura 6-24. Control utilizado en los intercambiadores.

7 MEMORIA DE CÁLCULOS

En este capítulo se realiza el desglose de los cálculos realizados, tanto la metodología seguida como los resultados recopilados en tablas de todos los parámetros necesarios e involucrados en la planta industrial de producción de aceite de oliva refinado.

7.1. Producción de aceite de oliva refinado a partir de aceite de oliva lampante.

La planta industrial está desarrollada bajo el diagrama de procesos de la figura 7-1. El aceite procedente de la almazara a una temperatura de 20 °C es almacenado en un depósito de recepción de gran volumen, debido a que este aceite de oliva lampante de mala calidad, puede ser que proceda de otra empresa ya que todas no tienen porqué tener una refinería instalada o que no se encuentre cerca. Una vez llega aquí el aceite va siendo impulsado por una bomba de engranajes B001 hasta llegar a una altura donde se encuentra un divisor de dos ramales. Estos dos ramales son de vital importancia debido a que es un línea del proceso donde se encuentra un bypass, que tiene como fin una actuación de seguridad ya que la línea de proceso de bypass es usada cuando la principal se estropea. En esta parte de acondicionamiento es donde más válvulas se encuentran, una es la válvula de bypass V002 y otra es la válvula de bola V001 que permite el paso a la línea de proceso principal constituida por una serie de tres tolvas, en primer lugar se encuentra la tolva T001 de recepción, que simplemente se encarga de recibir la materia prima, es decir, el aceite de oliva lampante a 20°C y de evitar que se estropee para darle paso a la tolva de mayor importancia, que es la tolva T002 de pesaje a través de una válvula de mariposa V003. Esta tolva posee un sistema de pesaje que le permite controlar la cantidad de caudal y potencia el proceso para seguir mediante otra segunda válvula de mariposa V004 hasta llegar a la tolva de descarga que se mezcla con la corriente de bypass, y sale la corriente a través de una válvula de bola V005 al proceso (ver figura 7-1).

Una vez el aceite se ha recibido y se ha controlado la cantidad que ha entrado, hay que incorporarlo al proceso para su acondicionamiento, para eso es impulsado por la bomba B002 de engranajes hasta hacerlo llegar a un intercambiador de carcasa y tubo E001, en el que el aceite se precalienta de 20 °C a 95 °C aproximadamente con una corriente de vapor saturado a 30 bar en contracorriente, para ello y como se ha explicado en el capítulo 6, se instala un controlador en cascada simple, para controlar la temperatura y si hiciera falta poder abrir la válvula o cerrar en función de la cantidad de vapor que hay que inyectar (Ver figura 7-1).

Esta primera etapa elegida en el análisis de alternativas, se ha considerado que el aceite llega en unas condiciones adecuadas, es decir, no se encuentra en malas condiciones ni ha estado en la intermperie por lo que se ha evitado poner un tren en serie de tres centrífugas.

Una vez el aceite de oliva lampante se ha acondicionado y se encuentran en condiciones de operación adecuadas, sale de la etapa de acondicionamiento mediante la bomba de impulsión de engranajes B003, hasta hacerlo llegar a un divisor, donde un 80% del total de la corriente del aceite pasa a un mezclador agitador donde se mezcla con un porcentaje de tierras. Este porcentaje de tierras está en torno el 0,5-2%, que realizando una media, se ha tomado como valor aproximado un 1,25% del total de aceite suponiendo alrededor de 5,875 t/día de tierra, esta consideración se ha tenido como una estimación tomada de diferentes fuentes, tanto de trabajos parecidos como de empresas dedicadas a la refinación del aceite, como son Acesur y Oleomecum. La cantidad de tierra es depositada en el silo S001, y descargada a través de una válvula de bola V007 hacia el mezclador agitador, donde se agita y mezcla con el 80% de aceite para conseguir así que las tierras adsorban los componentes del aceite. Una vez haya estado un tiempo aproximado de 15 minutos, pero trabajando de manera continua, es decir, conforme va entrando va saliendo el aceite que más tiempo lleva, para que no se produzca ningún parón además es transportada mediante un tornillo sin fin hacia la decoloradora DEC001, que es un depósito en el que vamos a encontrar en su interior otro agitador para continuar con la adsorción.

Cuando el aceite sale de la decoloradora se supone que sale perfectamente mezclado con las tierras por lo que es impulsado por la cuarta bomba del proceso, la bomba de engranaje B004 hacia el filtro automático F001, para la separación de tierras y aceite. Sin embargo, no es un proceso con un rendimiento del 100%, por lo que existen pérdidas de aceite con la corriente de tierras, este porcentaje de pérdidas de aceite arrastrado con las tierras se ha estimado es alrededor de 4,5% de aceite, que supone entorno a 21,04 t/día de aceite se pierden con las tierras. La estimación se realiza como una hipótesis, partiendo de que a lo largo del proceso existen pérdidas de 120 t de aceite lo que suponen un 25% del total. Gracias a la consulta de empresas, como las citadas anteriormente, se puede realizar una aproximación de pérdidas de aceite en las tierras.

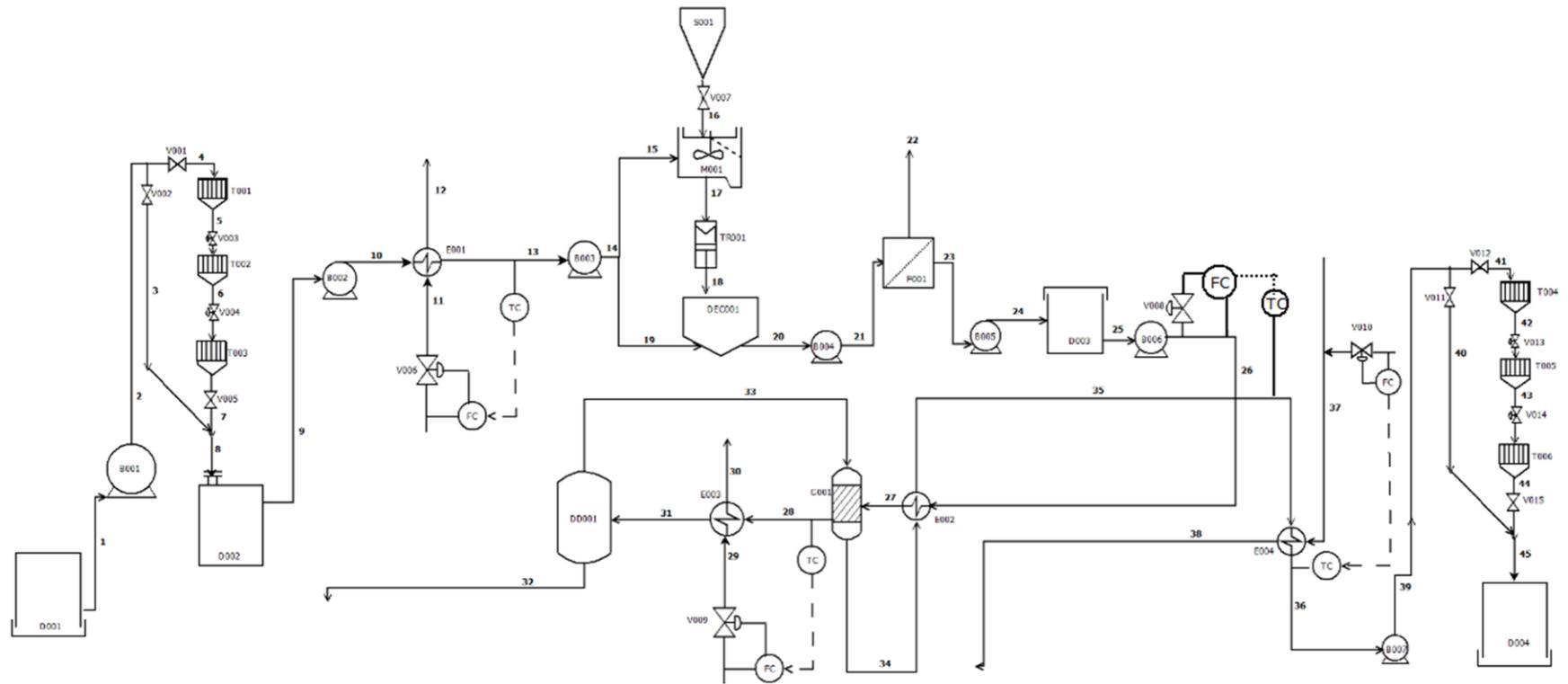
Un gestor autorizado es el encargado de la retirada de las tierras empleadas en el proceso de la retirada de las tierras empleadas en el proceso y utilizan este residuo para múltiples fines, como por ejemplo para la fabricación de biodiesel y grasas animales. El coste de la gestión de las tierras aproximadamente 22 euros/t.

La etapa de decoloración termina cuando el aceite sale del filtro F001, donde su temperatura no se mantiene en 95°C. Esta temperatura no es constante porque las tierras introducidas en el silo, se encuentran en condiciones ambientales, es decir, 25 °C y 1 atmósfera. Por ello, la mezcla de aceite y tierras salen del mezclador a una temperatura aproximadamente de 92°C. Posteriormente, la mezcla se introduce en el decolorizador, donde se aumenta la potencia para que salga de este equipo a 95 °C y así se consiga mantener la temperatura deseada. Por ello, desde que sale de dicho intercambiador hasta el final de la decoloración, incluso a lo largo de todo el proceso las tuberías debe encontrarse bajo un buen aislamiento térmico, aunque el diseño de las tuberías en concreto no se especifica, en rasgos generales habrá que realizar las tuberías de acero inoxidable porque evita pérdidas de calor, evita sobrecalentamiento ó enfriamiento del fluido. El aislamiento térmico de las tuberías es fundamental para la mejora en la eficiencia energética, supone en primer lugar un ahorro importante en la partida correspondiente al coste energético, pero también posibilita el correcto desarrollo de los diferentes procesos industriales. También mejora el funcionamiento de la instalación y alarga el ciclo de vida de los equipos.

Antes de entrar en la última y siguiente etapa, la desodorización, el aceite es impulsado por la bomba B005, hasta el depósito D003, que se encuentra en mitad del proceso. Cumple la función de depósito de paso ó de emergencia, realmente no es muy útil cuando no existen problemas y a que el aceite solo transcurre por su interior de pasada. Lo cierto es que, cuando existe algún problema ó sea necesario realizar una parada en ese depósito podría depositarse el aceite hasta que se restaure el equipo que estuviera estropeado sin tener pérdidas. Dicho depósito deberá de tener un doble aislamiento de acero inoxidable, y si hiciera falta situar en una resistencia térmica para situaciones de emergencia en el que se tuviera que depositar para evitar un enfriamiento del aceite ó pérdidas de calidad de éste.

Comienza la etapa de desodorización mediante la impulsión de la bomba de engranajes B006 hasta hacer llegar al fluido al intercambiador de calor de carcasa y tubo E002, donde se intercambia calor en contracorriente, sin mezclarse el aceite que entra a una temperatura de 95°C con el aceite proveniente del desgasificador a una temperatura elevada de 160°C. Se realiza de este modo, un precalentamiento antes de introducirlo en el desgasificador que se encuentra aproximadamente a 144°C y así se realiza un aprovechamiento del calor que puede proporcionarle el aceite caliente al frío, porque además éste necesita una serie de enfriamientos ya que se dirige hacia el almacenamiento para su posterior consumo. Cuando el aceite sale del intercambiador E002, se dirige al desgasificador ó también conocido como desaireador, cuya finalidad es realizar una destilación, por eso la presión es menor en este equipo, para eliminar los posibles vapores ó gases que se puedan encontrar en el aceite y para evitar que se produzcan procesos de oxidación. De ahí el aceite pasa a un siguiente intercambiador de calor mediante una corriente de vapor saturado para conseguir que entre en el desodorizador a una temperatura de 210°C, en el interior del desodorizador se inyecta vapor para conseguir una destilación y así por la diferencias de presiones se eliminan por la corriente de vapores los ácidos grasos arrastrando una cantidad aproximada de 96 t/día de aceite. La corriente saliente del desodorizador a una temperatura muy elevada, es tratada por una serie de enfriamientos, empezando por el desgasificador, así se enfría y el aceite entrante se precalienta, así como el siguiente intercambiador de calor entre aceite y aceite, que la funcionalidad que tienen es la optimización del proceso aprovechando el calor del aceite caliente y precalentando el frío. Cuando sale de estos dos, el último enfriamiento al que es sometido el aceite es mediante otro intercambiador, E004, con agua de refrigeración para conseguir finalmente una temperatura de 18°C adecuada para su posterior almacenamiento. Antes de su almacenamiento se vuelve a repetir el proceso realizado en la entrada del proceso, es decir, es sometido mediante una bomba de impulsión a un tren de tolvas en serie, así como la corriente de bypass en caso de avería. El procedimiento es exactamente el mismo que en la entrada, para controlar el flujo de aceite que se va a almacenar. Finalmente, el aceite llega al depósito D004 de almacenamiento final, donde el producto es aceite de oliva

refinado, y es apto para el consumo humano. Operaciones siguientes a estas, serían la venta a granel o embotellado, como se explica en el capítulo 3.5.



TRABAJO DE FIN DE GRADO
 PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA REFINADO A PARTIR DE ACEITE DE OLIVA LAMPANTE

AUTOR : ANA SÁNCHEZ TORRES

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

SEVILLA DICIEMBRE 2020

Figura 7-1. Diagrama de procesos para producir aceite de oliva refinado.

7.2. Balance de materia y energía.

Se realiza los balances de materia y energía de las corrientes del proceso.

7.2.1. Balances en la etapa de acondicionamiento.

Se han realizado simultáneamente los balances de materia y energía, para determinar el caudal que circula por cada corriente en esta etapa y sus condiciones de operación, de temperatura y presión.

En esta primera etapa, desde el primer depósito D001 hasta el depósito D002, todo el caudal que entra es igual al que sale. La corriente de bypass, tiene un caudal nulo ya que su existencia es debida para situaciones de emergencia en las que sea necesario la apertura de su válvula. Como en esta primera parte, no se produce intercambio de calor y las tuberías deben de ir con aislamiento térmico de acero inoxidable no existen variaciones de temperatura se mantiene constante a 20°C hasta que llegue al intercambiador. Por tanto, hasta aquí se aplica la ecuación 7-1.

$$\sum \text{Caudales entran} = \sum \text{caudales salen} \quad (7-1)$$

$$\text{Caudal de aceite} = 470 \frac{t}{\text{día}}$$

Una vez que el aceite llega al depósito D002, es impulsado mediante la bomba hasta hacerlo llegar al intercambiador de calor con vapor saturado a 30 bar, en el que se existe transferencia de calor y de temperaturas. Para ello, se aplica la ecuación general de transferencia y se ha tenido en cuenta el calor específico del aceite de oliva C_p constante a lo largo del proceso con un valor de 2000J/(Kg·K). (Ver ecuación 7-2).

$$M_{ACEITE} \cdot C_{pACEITE} \cdot \Delta T = m_{VAPOR} \cdot \Delta h \quad (7-2)$$

Donde:

$$M_{ACEITE} = \text{caudal de aceite en } \frac{Kg}{s}$$

$$C_{pACEITE} = \text{constante} = 2000 \frac{J}{Kg \cdot K}$$

$$\Delta T = \text{Diferencias de temperaturas del aceite } K$$

$$m_{VAPOR} = \text{caudal de vapor saturado necesario } \frac{kg}{s}$$

$$\Delta h = \text{diferencia de entalpías de líquido y gas para el vapor} \frac{KJ}{Kg}$$

De esta manera como se parte de que el aceite tiene que pasar de 20 a 95 °C, y que el vapor saturado que se va a usar se encuentra a 30 bar, se obtiene el caudal de vapor saturado que es necesario inyectar para el precalentamiento. (Ver tabla 7-1).

7.2.1. Balances en la etapa de decoloración.

En el proceso de decoloración no se mantiene constante la temperatura de 95 °C, por lo que es necesario realizar el balance de energía en este caso para calcular la temperatura a la salida del mezclador agitador. El balance de materia tiene su peculiaridad ya que se introducen tierras. La cantidad de tierras es proporcionada por un gestor autorizado y son almacenadas y depositadas en el silo S001. La cantidad de tierras según algunas fuentes, se sitúan entre el 0,5-2%, se asume 1,25 % del total de la corriente de aceite que entra en la decoloración son toneladas de tierra. Otra estimación que se ha tomado ha sido la división de la corriente hacia el mezclador y hacia la decoloradora. Se ha supuesto que el 20% va por la corriente 15 como se puede observar en figura 7-2, y el 80% del aceite va por la línea de corriente 19, hacia la decoloradora directamente.

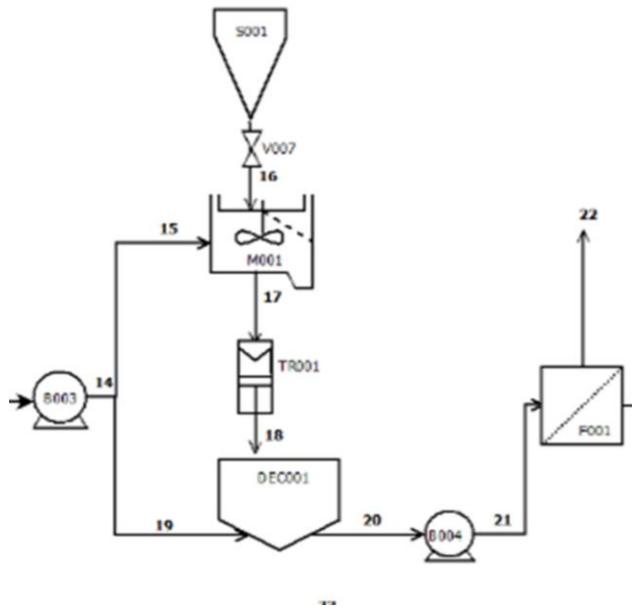


Figura 7-2. Etapa de decoloración del aceite.

En este caso, para calcular el balance de materia se cumple la ecuación 7-1 de nuevo:

$$\sum \text{Caudales entran} = \sum \text{caudales salen}$$

Y se aplican porcentajes para calcular el caudal como se observan en la ecuación 7-3 y 7-4.

$$\text{Caudal de aceite en mezclador} = 0,80 \cdot \text{caudal del aceite total. (7-3).}$$

$$\text{Caudal de aceite a decoloradora} = 0,20 \cdot \text{caudal del aceite total. (7-4).}$$

El balance de energía es necesario puesto que no se mantiene la temperatura. Las tierras se introducen mediante el silo a temperatura ambiente, es decir, a 25 °C. La realización del balance de energía en el mezclador se hace considerando que tanto el calor específico del aceite como el calor específico de tierra batán son constantes. (Ver ecuación 7-5).

$$Cp_{\text{aceite}} = 2000 \frac{J}{Kg \cdot K}.$$

$$Cp_{\text{Tierras}} = 1046 \frac{J}{Kg \cdot K}.$$

$$M_{\text{aceite}} \cdot Cp_{\text{aceite}} \cdot T(95^{\circ}C) + M_{\text{tierras}} \cdot Cp_{\text{tierras}} \cdot T(25^{\circ}C) = (\sum M_{\text{corrientes}} \cdot Cp_{\text{corrientes}}) \cdot T \quad (7-5)$$

$$T = 92,78 \text{ }^{\circ}C$$

Por tanto, la temperatura a la salida del mezclador agitador se encuentra entre 92 y 93 °C, por lo que la decoloradora deberá de someter la corriente a mayor potencia para conseguir la temperatura de 95°C nuevamente.

7.2.1.1. Fundamentos del proceso de adsorción de tierras decolorantes.

Las tierras aportadas son aproximadamente 5,87 t/día ya que representan el 1,25% del caudal total del aceite. Estas tierras de batán son una sustancia mineral caracterizada por la propiedad de adsorber colores básicos y removerlos de los aceites. Está compuesta, principalmente, por alúmina, sílice, óxidos de hierro, cal, magnesia y agua, en proporciones, extremadamente, variables, y es, generalmente, clasificada como una arcilla sedimentaria. En cuanto a su color, puede ser blanquecino, brillante, marrón, verde, olivo o azul. (ver figura 7-3).



Figura 7-3. Tierra de batán aplicada a la decoloración.

Es semi-plástica o no plástica y puede o no desintegrarse, fácilmente, en el agua. La tierra actúa como catalizador y son muy típicas para aplicaciones de refinación de aceites. La decoloración del aceite es un proceso basado principalmente en la adsorción, es decir, es un fenómeno en el que átomos o moléculas de una sustancia son retenidas en la superficie de otra sustancia. La gran cantidad de poros que el carbón activado tiene ayuda a retener en su superficie el material orgánico que ha estado en contacto. Como se puede observar en la figura 7-4, el fenómeno de adsorción hace que moléculas del fluido líquido, en este caso el aceite, se sientan atraídas por la

fase sólida, en este caso las tierras.

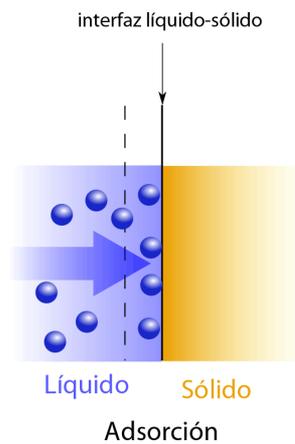


Figura 7-4. Fenómeno de adsorción.

Generalmente, estas tierras activadas mediante un tratamiento térmico. Sin embargo, aunque su superficie específica es alta, su capacidad adsorptiva está limitada por su alto contenido en metal. Por ello, la mayoría de las tierras decolorantes son ácidos-activadas con ácido sulfúrico ó ácido clorhídrico para su uso en la decoloración del aceite.[28]

El modelo teórico en el que está basado el fundamento de la adsorción es el método Freundlich, también conocido como la isoterma de adsorción de Freundlich, está basado en la isoterma de adsorción, que es una curva que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto. La ecuación de Freundlich es la siguiente:

$$\frac{x}{m} = K \cdot C^{\frac{1}{n}} \quad (7-6)$$

Donde los parámetros son:

x = masa del adsorbato.

m = masa del adsorbente.

K = constantes del adsorbato y adsorbente para una temperatura determinada.

C = concentración del equilibrio del adsorbato en disolución.

n = rango de decoloración dentro del cual el adsorbente manifiesta su efecto mayor.

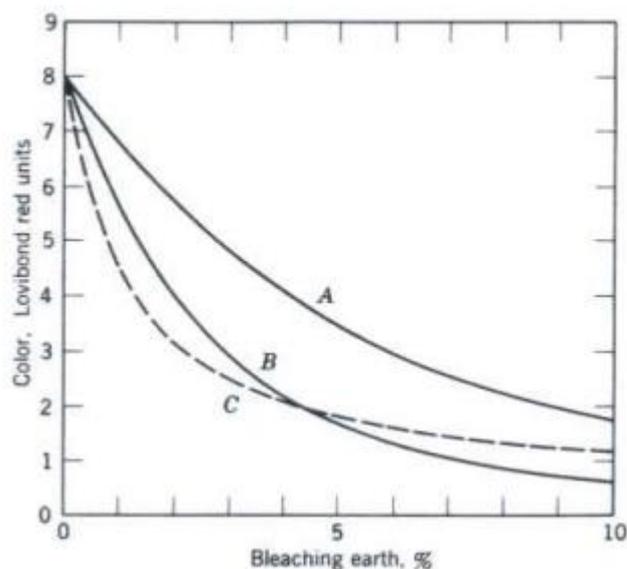


Figura 7-5. Curvas de decoloración para diferentes valores de K y n.

La figura 7-6, es una representación de las curvas de decoloración teóricas para diferentes valores de K y de n. Los valores de n están comprendidos entre 0,3-4 y los de K entre 0,2-7. Los valores dependen del tipo de tierra y de las condiciones de operación. A pesar de esto, para el cálculo de la cantidad de tierras necesarias a aportar son estimadas y consultadas en diferentes fuentes, como empresas que se dedicand al tema de la refinación del aceite. El tiempo que tiene que pasar la mezcla en la decoloradora es aproximadamente de 25 minutos, siendo este tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio entre las tierras decolorantes y los componentes que han de ser adsorbidos. La temperatura se mantiene aproximadamente contante en 95°C y la presión en la decoloradora es en torno a 0,05 bar, para crear vacío y evitar la oxidación.

7.2.2. Balances en la etapa de desodorización.

Cuando interviene el vapor como en el intercambiador E003 (ver figura 7-6), se aplica simultáneamente la ecuación general de transferencia de calor con la de balance de materia. Todas las corrientes definidas completamente, se encuentran recogidas en las tablas 7-1, 7-2, 7-3 y 7-4 donde el número de las corrientes corresponden con los números asignados a las corrientes en el diagrama de procesos de la figura 7-6.

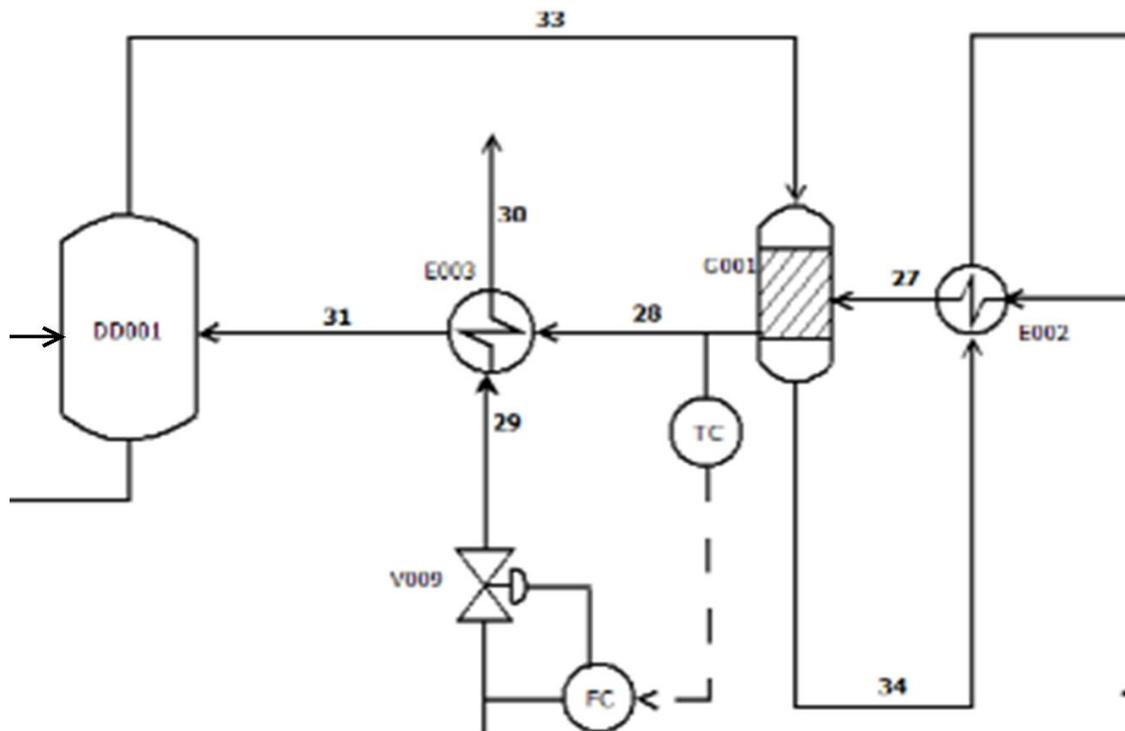


Figura 7-6. Parte de proceso de desodorización.

7.2.2.1. Balances en el intercambiado de calor entre aceite caliente y aceite frío, desaireador, intercambiador de calor entre aceite y vapor e intercambiador de calor entre aceite y agua de refrigeración.

El aceite sale de la etapa de decoloración impulsada por la bomba de engranajes B006 hasta hacer llegar al aceite al intercambiador de calor de aceite y aceite E002, donde se eleva la temperatura de 95°C a 144°C a través de la transferencia de calor del aceite caliente saliente del desaireador a 160°C aproximadamente. Para conocer la temperatura de aceite que se dirige hacia otro enfriamiento se aplica la ecuación de transferencia de materia 7-7. (ver figura 7-1)

$$M_{ACEITE} \cdot Cp_{ACEITEcaliente} \cdot \Delta T_{caliente} = M_{ACEITE} \cdot Cp_{ACEITEfrío} \cdot \Delta T_{frío} \quad (7-7)$$

Como se observa en la figura 7-6 cuando el aceite sale del intercambiador E002, se dirige hacia el desaireador para eliminar los gases que puedan existir en el aceite para evitar su oxidación, además se optimiza el proceso precalentando el aceite que va dirección al desodorizador con el aceite proveniente de éste. Para el balance de materia de este equipo se aplica la ecuación 7-1 ya que se tratan del mismo fluido.

$$\sum \text{Caudales entran} = \sum \text{caudales salen}$$

El balance de energía permite conocer la temperatura a la que sale del desaireador o desgasificador y se aplica la misma ecuación general de transferencia de calor que para un intercambiador estándar (ver ecuación 7-6). Lo cierto es que en su interior, es inyectado vapor para la eliminación de los posibles gases que estuvieran en el aceite. De esta manera, se consigue una temperatura de 180 °C, que a su corriente de salida se introduce en un tercer calentamiento de esta etapa, con un intercambiador de carcasa y tubo mediante una corriente de vapor saturado a 30 bar en contracorriente. Aplicando la ecuación 7-2, ya aplicada también en la primera etapa se consigue conocer el caudal de vapor saturado inyectado necesario.

$$M_{ACEITE} \cdot Cp_{ACEITE} \cdot \Delta T = m_{VAPOR} \cdot \Delta h$$

Para el cálculo, es necesario conocer la diferencia de entalpía del vapor saturado a la presión de saturación de 30 bar. Dicho valor se obtienen de las tablas termodinámicas del vapor de agua, como se pueden observar en el Anexo I (ver figura 1).

Por último, la corriente pasa por el último intercambiador que existe en esta etapa, que se trata de una refrigeración entre el aceite y agua refrigeración, puesto que el aceite se encuentra en las condiciones adecuadas y solo es necesario enfriarlo para poder almacenarlo en buenas condiciones para su posterior venta y consumo. El cálculo se realiza mediante la ecuación de transferencia, igual que en los otros casos, pero en este con la diferencia que el fluido frío es agua de refrigeración. (ver ecuación 7-8).

$$M_{ACEITE} \cdot Cp_{ACEITEcaliente} \cdot \Delta T_{caliente} = M_{agua\ ref} \cdot Cp_{agua\ ref} \cdot \Delta T_{agua\ ref} \quad (7-8)$$

7.2.2.2. Balances en el desodorizador.

El desodorizador actúa como una columna de destilación a alto vacío con inyección de vapor. Como se observa en la figura 7-7, la columna está formada por bandejas y van evaporándose compuestos como ácidos grasos libres con el calentamiento. Para ello, se introduce como se observa en el diagrama 7-1, una corriente de vapor, y con la corriente de ácidos grasos libres, arrastra el vapor y un porcentaje de pérdidas de aceite que se lleva con ellos, aproximadamente un 20%.

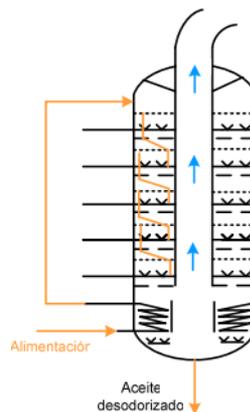


Figura 7-7. Columna con bandejas para la desodorización.

El funcionamiento es similar al de una columna de destilación, debido a ello, para conocer los caudales se aplican las ecuaciones 7-9, 7-10 aplicadas en procesos de destilación.

$$F = D + L \quad (7-9)$$

Donde:

F = alimentación, formada por aceite + ácidos grasos libres.

D = destilado, formado por vapores + ácidos grasos libres + %pérdidas aceite.

L = Fondo, formado por aceite desodorizado.

Como el aceite se encuentran en todas las corrientes, se aplica balance de materia por componente:

$$X_F \cdot F = X_D \cdot D + X_L \cdot L \quad (7-10)$$

Donde X_F , X_D y X_L , son las composiciones de aceite en dichas corrientes. Para el balance de energía simultáneo sería parecida la metodología aplicando entalpías y ecuaciones de transferencia de calor (ver ecuación 7-11).

$$\sum \text{Entalpías entran} = \sum \text{Entalpías salen} \quad (7-11)$$

7.2.3. Resultado obtenidos.

Gracias a todas las ecuaciones explicadas, se obtienen todos los datos necesarios para definir completamente las corrientes del diagrama de procesos y vienen recogidos en las siguientes tablas 7-1, 7-2, 7-3, 7-4 y 7-5

N°Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T(°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
P(bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Caudales (T/día)										
Aceite	468	468	94	374	374	374	374	468	468	468
Agua de refrigeración	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tierra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vapor de Agua	0	0		0	0	0	0	0	0	0
Ácidos Grasos	2	2	0,5	2	2	2	2	2	2	2
Total	470	470	94	376	376	376	376	470	470	470

Tabla 7-1. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.

N°Corrientes	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T(°C)	134	134	95	95	95	25	92,78	92,78	95	95
P(bar)	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3
Caudales										
Aceite	0	0	468	468	94	0	94	94	374	468
Agua de refrigeración	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tierra	0	0	0	0	0	6	6	6	0	6
Vapor de Agua	33	33	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácidos Grasos	0	0	2	2	0,5	0	0,5	0,5	2	2,35
Total	33	33	470	470	94	6	100	100	376	476

Tabla 7-2. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.

N°Corrientes	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
T(°C)	95	95	95	95	95	95	144	180	233,8	233,8
P(bar)	3	3	3	3	3	3	3	3	30	30
Caudales										
Aceite	468	21	447	447	447	447	447	447	0	0
Agua de refrigeración	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tierra	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
Vapor de Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15
Ácidos Grasos	2	0	2	2	2,35	2,35	2,35	2,35	0	0
Total	476	27	449	449	449	449	449	449	15	15

Tabla 7-3. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.

N°Corrientes	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
T(°C)	210	25	260	160	110	18	5	60	18	18
P(bar)	3	1	1	1	3	3	3	3	3	3
Caudales										
Aceite	447	97	350	350	350	350	0	0	350	70
Agua de refrigeración	0	0	0	0	0	0	280	280	0	0
Tierra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vapor de Agua	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácidos Grasos	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	449	120	350	350	350	350	280	280	350	70

Tabla 7-4. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.

N°Corrientes	41	42	43	44	45	46
T(°C)	18	18	18	18	18	133,4
P(bar)	3	3	3	3	3	30
Caudales						
Aceite	280	280	280	280	350	0
Agua de refrigeración	0	0	0	0	0	0
Tierra	0	0	0	0	0	0
Vapor de Agua	0	0	0	0	0	20,74
Ácidos Grasos	0	0	0	0	0	0
Total	280	280	280	280	350	0

Tabla 7-5. Definición de corrientes en presión, temperatura y caudal.

8. DISEÑO DE EQUIPOS

En este capítulo se realiza el diseño de los equipos, es decir, el cálculo de los parámetros de diseño más importantes de los equipos y de la elección del equipo a usar de un catálogo comercial real.

8.1. Intercambiadores de calor.

En el proceso de refinación hay 4 intercambiadores, todos de tipo de carcasa y tubo. Se realiza el cálculo de los parámetros de diseño más importantes como son la potencia y el área de intercambio. La metodología empleada para el cálculo de estos parámetros han sido, la ecuación de transferencia de calor (ver ecuación 8-1) y el método DTLM.

8.2. Potencias de Intercambiadores de calor.

- Intercambiador de calor, E001.

$$P = M_{Aceite} \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (8-1)$$

$$P = 470 \frac{t}{día} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 día}{24 horas} \cdot \frac{1 hora}{3600 s} \cdot \frac{2000 J}{Kg \cdot K} \cdot (95 - 20)K = 815972,2 \frac{J}{s}$$

$$P = 815972,2 \frac{J}{s} = 815972,2 W = 815,97 kW.$$

- Intercambiador de calor, E002.

$$P = M_{Aceite} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$P = 448,95 \frac{t}{día} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 día}{24 horas} \cdot \frac{1 hora}{3600 s} \cdot \frac{2000 J}{Kg \cdot K} \cdot (144 - 95)K = 509225,6944 \frac{J}{s}$$

$$P = 509225,6944 \frac{J}{s} = 509225,6944 W = 509,22 kW.$$

- Intercambiador de calor, E003.

$$P = M_{Aceite} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$P = 448,95 \frac{t}{día} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 día}{24 horas} \cdot \frac{1 hora}{3600 s} \cdot \frac{2000 J}{Kg \cdot K} \cdot (210 - 180)K = 311770,83 \frac{J}{s}$$

$$P = 311770,83 \frac{J}{s} = 311770,83 W = 311,77 kW.$$

- Intercambiador de calor, E004.

$$P = M_{Aceite} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$P = 350 \frac{t}{día} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 día}{24 horas} \cdot \frac{1 hora}{3600 s} \cdot \frac{2000 J}{Kg \cdot K} \cdot (110 - 18)K = 745370,3704 \frac{J}{s}$$

$$P = 745370,3704 \frac{J}{s} = 745370,3704 W = 745,370 kW.$$

8.3. Áreas de transferencia de Intercambiadores de calor.

Mediante el método DTLM, aplicando la ecuación 8-2 y siguiente:

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot DTLM \quad (8-2)$$

Donde los parámetros que la forman significan lo siguiente:

$Q = potencia\ calculada\ previamente\ (W).$

$U = Coeficiente\ de\ transferencia\ \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right).$

$A = Área\ (m^2).$

$F = Factor\ correctivo\ (Adimensional).$

$DTLM = Diferencia\ de\ temperatura\ logarítmica\ media\ (K).$

Para obtener el valor de DTLM, hay que realizar la diferencia de temperatura logarítmica media, donde el incremento de temperatura a la entrada son la diferencia de temperaturas a la izquierda y el incremento de temperatura a la salida es la diferencia de temperaturas a la derecha (Ver figura 8-1).

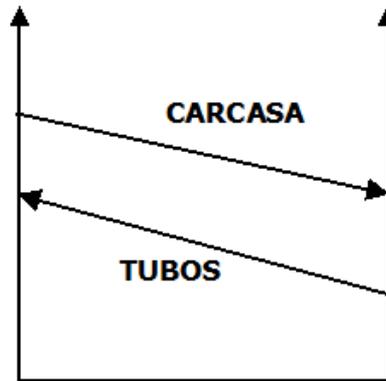


Figura 8-1. Representación de la orientación de los fluidos en el intercambiador.

La ecuación de DTLM, es la ecuación 8-3 siguiente, y hay que aplicarla para calcular el valor de DTLM en cada caso.

$$DTLM = \frac{\Delta T_e - \Delta T_s}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right)} \quad (8 - 3)$$

Para calcular el factor correctivo, F hay que calcular los parámetros P y R:

$$P = \frac{\Delta T \text{ fluido dentro de los tubos}}{\Delta T \text{ máximo}} \quad (8 - 4)$$

$$R = \frac{\text{Capacidad del fluido dentro del tubo}}{\text{Capacidad del fluido fuera del tubo}} \quad (8 - 5)$$

Con los dos parámetros y la gráfica, la figura 6 de los anexos, se saca el parámetro F. Por otra parte, el valor del coeficiente de transferencia, gracias a la consulta de libros de transferencia de calor se conocen los valores comprendidos que se tienen para la diferencia transferencia entre diferentes fluidos y para esta caso se realiza una media.-[29]

- Intercambiador 1, E001.

El valor de U estimada, para transferencia de calor entre aceite y vapor está comprendida entre valores de 170-340 W/(m²·K). El valor estimado es una media entre ellos, aproximadamente 255 W/(m²·K).

$$DTLM = \frac{39 - 114}{\ln\left(\frac{39}{114}\right)} = 69,921 \text{ K}$$

$$P = \frac{95 - 20}{134 - 20} = 0,657$$

$$R = \frac{95 - 20}{0} = \infty$$

Cuando existe cambio de fase el factor F=1, como en el caso del vapor saturado que pasa a líquido saturado. Por ultimo, se aplica la ecuación general y despejando el área se obtiene el valor.

$$815972,2 W = 255 \frac{W}{m^2} \cdot A \cdot 1 \cdot 69,921 K$$

$$\text{Área} = 45,764 m^2.$$

- Intercambiador 2, E002.

El valor estimado de U es 255 W/(m²·K). Aplico las mismas ecuaciones:

$$DTLM = \frac{16 - 15}{\ln\left(\frac{16}{15}\right)} = 88,05 K$$

$$P = \frac{144 - 95}{260 - 95} = 0,296$$

$$R = \frac{144 - 95}{260 - 160} = 0,49$$

$$F = 0,97$$

$$509225,6944 W = 255 \frac{W}{m^2} \cdot A \cdot 0,97 \cdot 88,05 K$$

$$\text{Área} = 23,3813 m^2$$

- Intercambiador 3, E003.

El valor estimado de U es 255 W/(m²·K). Aplico las mismas ecuaciones:

$$DTLM = \frac{23,8 - 53,8}{\ln\left(\frac{23,8}{53,8}\right)} = 36,783 K$$

$$F = 1 \text{ (cambio de fase)}$$

$$311770,83 W = 255 \frac{W}{m^2} \cdot A \cdot 1 \cdot 36,783 K$$

$$\text{Área} = 33,239 m^2$$

- Intercambiador 4, E004.

El valor estimado de U es 230 W/(m²·K). Aplico las mismas ecuaciones:

$$DTLM = \frac{50 - 13}{\ln\left(\frac{50}{13}\right)} = 27,4669 K$$

$$P = \frac{60 - 5}{110 - 5} = 0,5238$$

$$R = \frac{60 - 5}{110 - 18} = 0,5978$$

$$F = 0,94$$

$$745370,3704 W = 230 \frac{W}{m^2} \cdot A \cdot 0,94 \cdot 27,4669 K$$

$$\text{Área} = 125,51 m^2$$

8.4. Elección de tipo de intercambiador comercial y justificación.

Los intercambiadores de calor aplicados en el proceso son de tipo carcasa y tubo y como se ha calculado en el apartado 8.2.1. y 8.2.2. se obtiene el área de transferencia de cada uno de ellos y de sus potencias. Ambos son parámetros fundamentales en el diseño de estos equipos. El intercambiador de carcasa y tubo elegido es “Fluitec mixing + reaction solutions AG” de la marca sueca Fluitec. Esta elección es debido a su gran capacidad, puede aguantar potencias muy elevadas y además sirve tanto para intercambio de calor entre fluidos líquidos como en combinación de líquido y gas. Este modelo cumple con las exigencias evaluadas para el proceso, tanto a nivel de temperatura como de presión y potencia. Además son un tipo de intercambiadores muy recomendados para fluidos viscosos porque son intercambiadores de calor multitubo con elementos mezcladores en los multitubos. Tienen un precio aproximado de 2000 euros/intercambiador. Asimismo, este modelo presenta muy buenas características como alta eficiencia, ya que es algo que siempre interesa en una planta química, resistente a la corrosión directamente relacionado con el mantenimiento y la limpieza que siempre suponen gastos y pérdidas.

Diseño	
Modelo	Fluitec mixing + reaction solutions AG. 
Marca	Fluitec
Fluidos	<ul style="list-style-type: none"> - Líquido+líquido. - Líquido+ gas.
Material	<ul style="list-style-type: none"> - Acero inoxidable. - De titanio y de níquel. - De acero.
Tipo	De carcasa y tubo
Presión operativa	
- Máxima	200 bar
- Mínima	0 bar
Temperatura	
- Máxima	400°C
- Mínima	-100°C
Potencia	
- Máxima	10.000 kW
- Mínima	0,1 kW.
Características	<ul style="list-style-type: none"> - Compacto. - Alta eficiencia y resistente a corrosión.
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Industria agroalimentaria y petroquímica. - Para fluidos térmicos

Tabla 8-1. Hoja de especificaciones de detalle de los intercambiadores.

8.5. Bombas de impulsión de engranajes.

Todas las bombas implicadas en el proceso de producción de aceite refinado del diagrama de la figura 7-1, son bombas de impulsión de engranajes. Los parámetros de diseño más importantes de las bombas son el punto de funcionamiento, así como su altura. Hay un total de siete bombas de impulsión de tipo engranaje.

8.6. Estimación de punto de funcionamiento de las bombas.

Son unos equipos que están caracterizados por el caudal nominal de fluido que pasa por sus tuberías así como la altura que es capaz de alcanzar.

Para el cálculo del punto de funcionamiento de la bomba, se aplica la Ecuación de Bernoulli.

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \Delta H = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + h_{f12} \quad (8-6)$$

Donde:

- P_1 =presión del punto 1.
- P_2 =Presión del punto 2.
- ρ = densidad del fluido que circula por el interior de los tubos.
- V_1 = velocidad que posee el fluido en el punto 1.
- V_2 =velocidad que posee el fluido en el punto 2.
- Z_1 =cota a la que se encuentra el Sistema en el punto 1.
- Z_2 =cota a la que se encuentra el Sistema en el punto 2.
- ΔH =punto teórico de funcionamiento en metros de la bomba.
- H_{f12} =pérdida mecánica entre los dos puntos.

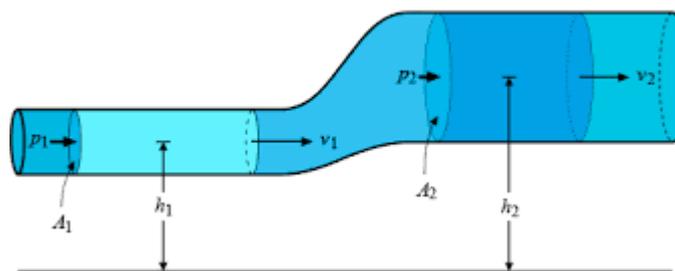


Figura 8-2. Representación de la ecuación de Bernoulli en tubería.

Todos los parámetros que aparecen en la ecuación de Bernoulli son proporcionados, excepto la pérdida de carga mecánica, que es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc. Para el cálculo de la pérdida se aplica la ecuación 8-7, como se muestra a continuación:

$$h_{f12} = 4 \cdot f \cdot \frac{L_{sastre} + \sum L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2} + \sum (K \cdot \frac{v^2}{2}) \quad (8-7)$$

Donde:

- $4f$ = Factor de fricción, se obtiene entrando en el Ábaco de Moody, y para entrar hace falta:

- Re :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (8-8)$$

- Rugosidad relativa: $\frac{\epsilon}{D}$. Entrando conociendo el material y el diámetro interior de la tubería, en el ábaco de la figura 2 del anexo I.

- L_{sastre} = La longitud de tubería.
- L_{eq} = Longitud equivalente de los accesorios, como codos, conexiones en T...etc.
- D = Diámetro nominal de la tubería.
- v = velocidad del fluido que circula por el interior de la tubería.
- k = Coeficiente de pérdida de carga.

El caudal y la altura de operación de una bomba dependen tanto de la velocidad de accionamiento como del circuito donde se instale. La intersección de las dos curvas es el punto de operación P de la bomba y del sistema.

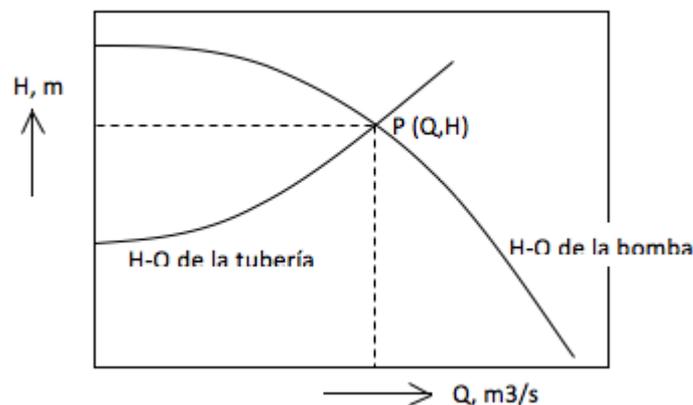


Figura 8-3. Curva característica de las bombas.

Hasta aquí comprende la metodología necesaria para el cálculo de los parámetros de diseño de las bombas. Sin embargo, en este proyecto no se ha realizado el diseño de las tuberías ni se conoce, lo cuál es necesario tanto para saber el diámetro como la velocidad del fluido en su interior y así conocer la longitud del tramo y poder calcular la pérdida de carga. Debido a todo esto, se ha realizado una serie de estimaciones. [30]

A continuación, se muestran los valores aproximados en los que deben de encontrarse las bombas según su condiciones de diseño y operación. [31]

- Bomba, B001. Como se ha explicado, para la obtención del punto de funcionamiento, a partir de la curva característica de la bomba y de su caudal.

La bomba está especificada por los siguientes valores:

Caudal (t/día)	470
ΔH (m)	95,10
Temperatura (°C)	20
Potencia (kW)	5,72
Potencia (CV)	7,728

Tabla 8-2. Datos característicos de la bomba B001.

Considerando esa estimación, la potencia se obtiene mediante la ecuación:

$$P = \rho \cdot Q \cdot \Delta H / (\eta \cdot 75) \quad (8-9)$$

Donde los parámetros que aparecen son densidad del fluido, caudal, altura estimada y rendimiento, que se va a considerar del 90% aproximadamente.

$$P = 0,916 \frac{kg}{dm^3} \cdot 21,4 \cdot 10^3 \frac{dm^3}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \cdot 95,10 m / (0,90 \cdot 75)$$

$$P = 7,671 HP \cdot \frac{1 kW}{1,34 HP} = 5,72 kW = 7,7282 CV.$$

Para las seis bombas restantes se realiza de la misma manera, como se puede observar en las tablas de cada una de ellas con los datos recogidos. La potencia aunque no sea exacta es necesaria para poder estimar el coste económico.

- Bomba, B002.

Caudal (t/día)	470
ΔH (m)	95,10
Temperatura (°C)	20
Potencia (kW)	5,72
Potencia (CV)	7,728

Tabla 8-3. Datos característicos de la bomba B002.

- Bomba, B003.

Caudal (t/día)	470
ΔH (m)	95,10
Temperatura (°C)	95
Potencia (kW)	5,72
Potencia (CV)	7,728

Tabla 8-4. Datos característicos de la bomba B003.

- Bomba, B004.

Caudal (t/día)	475,875
ΔH (m)	96,3835
Temperatura (°C)	95
Potencia (kW)	5,867
Potencia (CV)	7,92

Tabla 8-5. Datos característicos de la bomba B004.

En la cuarta bomba, el caudal cambia un poco por lo que los valores varían algo y se recalcula la potencia.

$$P = 0,916 \frac{kg}{dm^3} \cdot 21,64 \cdot 10^3 \frac{dm^3}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \cdot 96,3835 m / (0,90 \cdot 75)$$

$$P = 7,862 HP \cdot \frac{1 kW}{1,34 HP} = 5,867 kW = 7,92 CV.$$

- Bomba 005 y B006. Son idénticas puesto que transcurre el mismo caudal y se encuentran a las mismas condiciones de operación.

Caudal (t/día)	448,95
ΔH (m)	90,93
Temperatura (°C)	95
Potencia (kW)	5,22
Potencia (CV)	7,042

Tabla 8-6. Datos característicos de las bombas B005 y B006.

Se vuelve a recalcular la potencia, ya que el caudal ahora es 448,95 t/día, es decir, aproximadamente unos 20,42 m³/h. Dando lugar a una estimación para caudal nominal de 90,93 m.

$$P = 0,916 \frac{kg}{dm^3} \cdot 20,421 \cdot 10^3 \frac{dm^3}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \cdot 90,93 m / (0,90 \cdot 75)$$

$$P = 6,99 HP \cdot \frac{1 kW}{1,34 HP} = 5,22 kW = 7,042 CV.$$

- Bomba 007. En la última bomba el caudal de aceite, se ha reducido considerablemente como debe de ser puesto que durante el proceso existen pérdidas. Esta bomba se encuentra en el final de la etapa de desodorización, en la que el aceite ya se encuentra desodorizado y la bomba impulsa el fluido hacia el almacenamiento final. Por ello, se vuelve a estimar una altura de bomba para un caudal aproximado de 15 m³/h y se aplica la ecuación de potencia para su cálculo (ver ecuación 8-9). Todos los parámetros de diseño vienen recogidos en la tabla 8-7.

Caudal (T/día)	350
ΔH (m)	70,88
Temperatura (°C)	18
Potencia (kW)	5,22
Potencia (CV)	7,042

Tabla 8-7. Datos característicos de la bomba B007.

8.7. Elección del tipo de bomba comercial y justificación.

El modelo de bomba de engranajes elegido es “ROTAN HD” de la marca DESMI, su elección ha estado basada prácticamente en que es una bomba de tipo engranajes, y además para fluidos viscosos y destinados al sector agroalimentario como el aceite. Debido a esto, y que cumple todos los requisitos de condiciones de operación se ha elegido como la mejor opción.[32]

Diseño	
Modelo	Bomba de fuerte carga ROTAN® HD. 
Marca	DESMI Pumping Technology A/S
Tipo	De engranajes.
Accionamiento	Motor eléctrico.
Especificaciones del fluido	Fluidos viscosos.
Caudal	
- Máximo	250 m ³ /h
- Mínimo.	0 m ³ /h
Presión	
- Máximo	16 bar
- Mínimo	0 bar
Temperatura máxima	250 °C
Velocidad	1750 rpm
Capacidad de succión	
- En aspiración.	Hasta 0,5 bar.
- Bombeo	Hasta 0,8 bar.
Viscosidad máxima	250.000 cSt.
Características	De fuerte carga, para líquidos no corrosivos y muy viscosos. Robustos y simples.
Aplicaciones	Para aplicaciones industriales, agroalimentarias y bombeo de fluidos muy viscosos como el aceite.

Tabla 8-8. Hoja de especificaciones de las bombas.

8.8. Válvulas.

Como se comenta en el capítulo 6, existen diversas válvulas en el proceso, las cuales se dividen en varios tipos, de bola, de mariposa y de aguja. Para elegir una válvula los parámetros que hay que tener en cuenta son el uso que se le va a dar, saber las condiciones en las que se encuentra operando, temperatura y presión, el tipo de fluido que transcurre en su interior y conocer el rango que permite para valores de presión y temperatura. Dicho todo esto, para cada tipología de válvulas ya elegidas previamente según su uso final, se va a elegir una válvula comercial de un catálogo.

8.9. Elección del tipo de válvulas de mariposa comercial y justificación.

El modelo elegida para las válvulas de mariposas, es debido, que cumple las condiciones de operación y está destinado para fluidos como el aceite. El material es PVC, y hace que el equipo sea barato.

Diseño	
Modelo	Válvula de mariposa D71X-6F. 
Tipo	Válvula de mariposa.
Marca	Ningbo Baodi Plastic Valve Co., Ltd.
Accionamiento/ Modo de conducción	De palanca/ manual.
Temperatura - Máxima	450°C
- Mínima	-40°C
Presión - Máxima	700.000 Pa
- Mínima	500.000 Pa
Diámetro Nominal	
Diámetro Nominal - Máximo	800 mm
- Mínimo	25 mm
Fluidos	Aceite, agua y alimentación.
Material	PVC

Tabla 8-9. Hoja de especificaciones de las válvulas de mariposa.

8.10. Elección del tipo de válvulas de bypass comercial y justificación.

En el proceso de refinación existen dos válvulas de bypass, que son usadas cuando existe avería en la línea de procesos principal. Para este tipo de válvulas se ha elegido de tipo aguja porque cumple con las condiciones de operación ya que aunque la temperatura máxima sea de 55°C, estas válvulas se encuentran en las líneas de bypass, una al comienzo de la etapa de acondicionamiento a 20 °C y al final de la etapa de desodorización a 18°C, por lo que el rango de temperaturas lo cumple, así como también el de presión. Por otra parte, es un modelo que presenta un mecanismo de autolimpieza, lo que influye positivamente. [33]

Los materiales son de PVC lo que le hacen adaptable a cualquier estándar. Como se puede observar en la figura 8-10 de la hoja de especificaciones del catálogo aportado por el fabricante, diferentes diámetros nominales junto el estándar de tablas de resistencias de cada parte estructural del material.

Diseño	
Modelo	Válvula de aguja ANR-1500. 
Tipo	Válvula de aguja
Marca	Global Control engineering Ltd
Accionamiento	Manual.
Fluidos	Agua y productos químicos
Temperatura	
- Máxima.	55 °C
- Mínima.	0°C
Presión	800.000 Pa
Diámetro Nominal	25 mm
Precio	15-22 euros

Tabla 8-10. Hoja de especificaciones de las válvulas de aguja.

Dimensions & Drawing:

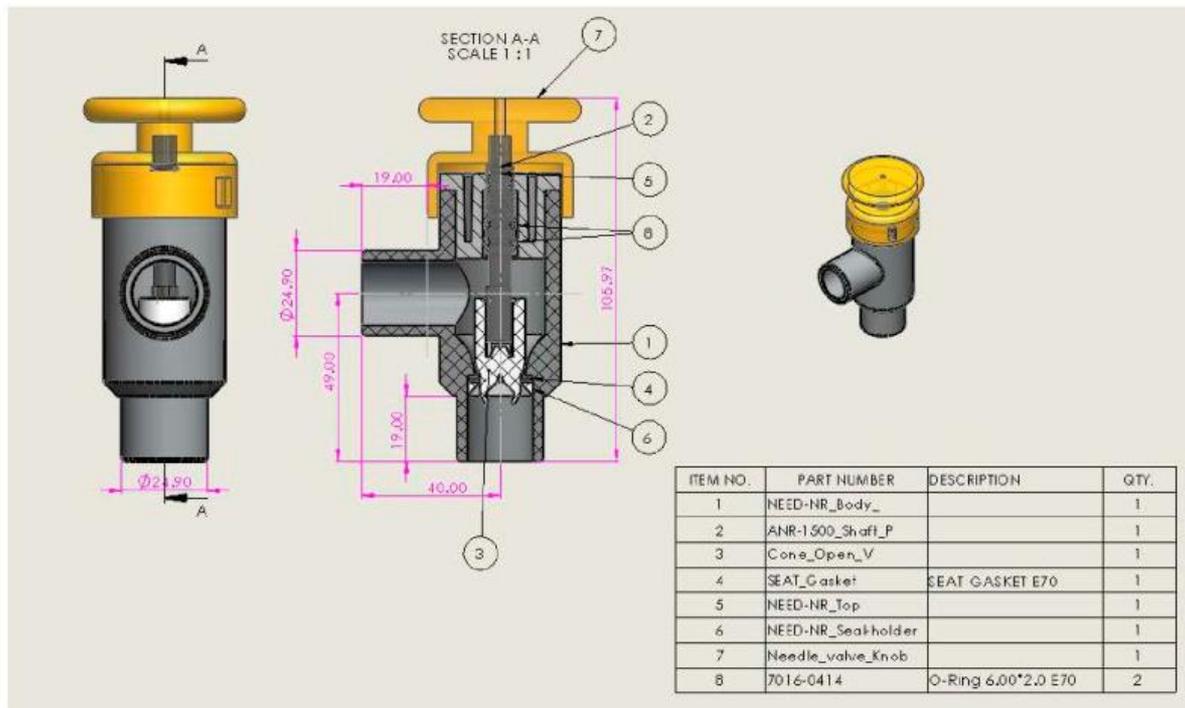


Figura 8-4. Datos y dimensiones de la hoja de especificaciones del catálogo del fabricante de las válvulas de mariposa.

8.11. Elección del tipo de válvulas de bola y justificación.

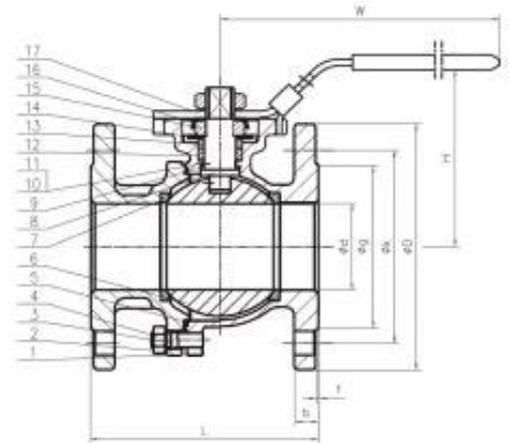
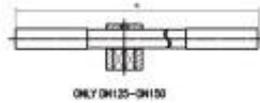
La elección de este modelo de bola está justificado, en primer lugar e igual que en casos anteriores porque cumple todas las condiciones de operación en las que se encuentran en el proceso de refinación, además de que es apto para fluidos como el aceite. Por otra parte, la válvula de bola de 2 piezas bridas, es un elemento muy económico y de calidad, lo cual influye en la decisión. Está fabricado bajo la normativa europea. Como se observa en la tabla 8-11 se recogen los datos más importantes de la válvula y también en la figura 8-5 la hoja de especificaciones proporcionada por el fabricante.

Diseño	
Modelo	Válvula de bola 2 piezas bridas DIN KTN1212. 
Tipo	De bola.
Marca	Contagas.
Accionamiento	De palanca.
Cuerpo	De brida, de 2 piezas, de acero inoxidable.
Temperatura	
- Máxima.	180°C
- Mínima.	-20°C
Presión	Hasta 40 bar.
Diámetro nominal	
- Máximo.	200 mm
- Mínimo.	15 mm
Caudal	
- Máximo.	8.650 m ³ /h.
- Mínimo.	19 m ³ /h
Material	
- Válvula.	- Acero inoxidable DIN 1.4408.
- Esfera y eje.	- Acero inoxidable AISI 316

Tabla 8-11. Hoja de especificaciones de las válvulas de bola.

FIG
1212

VÁLVULA DE BOLA 2 PIEZAS BRIDAS DIN, PASO TOTAL
DIN BALL VALVE, FULL BORE, 2 PIECES



ESPECIFICACIONES
SPECIFICATIONS

- Cuerpo y bola acero inoxidable AISI 316
- Tórica eje: Vitón
- Asientas en PTFE + 15% FV
- Temperatura de trabajo: -20°C / 180°C

- Body and ball made of AISI 316 stainless steel
- Viton toric joints
- PTFE + 15% FV ball seats
- Working temperature: -20°C / 180°C

Manguito	Handle	SS+PVC
Corona	Crown washer	AISI304
Tuerca	Nut	AISI304
Muelle de disco	Disc spring	AISI304
Prensaestopa	Gland	AISI304
Empaquetadura	Packing	PTFE
Esfera metal	Steel ball	AISI304
Muelle	Spring	AISI304
Arandela de empuje	Thrust washer	PTFE
Vástago	Stem	AISI304
Asiento	Seat	RPTFE
Esfera	Ball	316
Junta	Gasket	PTFE
Tuerca	Nut	AISI304
Tornillo	Bolt	AISI304
Bonete	Bonnet	AISI316
Cuerpo	Body	AISI316

Código / Code	DN	"	L	D	Øk	Øg	b	f	z-d1	H	w	€
2323KTNB001	15	1/2"	115	95	65	45	16	2	4-14	11	150	-
2323KTNB002	20	3/4"	120	105	75	58	18	2	4-14	86	150	-
2323KTNB003	25	1"	125	115	85	68	18	2	4-14	93	180	-
2323KTNB004	32	1 1/4"	130	140	100	78	18	2	4-18	103	180	-
2323KTNB005	40	1 1/2"	140	150	110	88	18	3	4-18	115	210	-
2323KTNB006	50	2"	150	165	125	102	20	3	4-18	125	210	-
2323KTNB007	65	2 1/2"	170	185	145	122	18	3	4-18	145	260	-
2323KTNB008	80	3"	180	200	160	138	20	3	8-18	152	260	-
2323KTNB009	100	4"	190	220	180	158	20	3	8-18	179	330	-
2323KTNB010	125	5"	325	250	210	188	22	3	8-18	238	650	-
2323KTNB011	150	6"	350	285	240	212	22	3	8-22	260	800	-
2323KTNB012	200	8"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 8-5. Datos y dimensiones de la hoja de especificaciones del catálogo del fabricante de las válvulas de bola.

8.12. Tolvas.

Las tolvas de recepción, almacenan y reciben una cantidad elevada del fluido. En la primera, el caudal del fluido es 470 t/día y en la segunda tolva de recepción al final del proceso de desodorización recibe entorno a 350 t/día.

El diseño de una tolva se realiza partiendo de la materia prima que almacena y el material del que está fabricado la tolva, ya que éstos proporcionan el ángulo de rozamiento fundamental para entrar con ese dato en las gráficas de diseño de tolvas para conseguir el ángulo de inclinación. (Ver figura 5 del anexo I).

8.13. Elección de tolva de recepción.

Diseño	
Modelo	Tolva de recepción INOX VIA 3000 x 2000 MM 
Tipo	Tolva de recepción.
Marca	In Via
Material	Acero Inoxidable
Estructura	Estructura portante y alimentador sinfín de acero AISI 304
Peso	650 kg
Precio	17.327,20 euros /equipo
Dimensiones	
- Longitud	3000 mm
- Anchura	2000 mm
Potencia motor	4,5-7,5 kW.

Tabla 8-12. Hoja de especificaciones de las tolvas de recepción.

8.14. Elección de tolva de pesaje.

Diseño	
Modelo	Tolva de pesaje 
Material	Acero Inoxidable 304 y de acero al carbono
Pesaje	De 5 a 50 kg
Características	<ul style="list-style-type: none"> - Controlador- regulador de pesaje variable. - Mecanismos de control de maniobras y electro válvulas. - Incluye material eléctrico y electrónico para automatización.
Marca	Talleres Salo, S.L.

Tabla 8-13. Hoja de especificaciones de las tolvas de pesaje.

8.15. Silo, elección y justificación.

La elección del silo permite una eficiencia de vaciado óptima de materiales livianos que a menudo causan formación de puentes. El sistema está diseñado con dos pasos diferentes para permitir una descarga uniforme. El silo de descarga del sinfín se suministra con una puerta de inspección, un vidrio de inspección, una tapa de acero y un sinfín de artesa con motor de engranaje helicoidal. El silo también se puede suministrar de serie con unidad de inyección completa con brida de conexión para camión cisterna, tubería, caja de filtro y bolsa de filtro.

La capacidad del silo, es decir, el volumen es el parámetro de diseño principal. Se ha calculado este parámetro a partir de la cantidad de tierras necesario y conociendo su densidad, como se observa en la ecuación 8-10.

$$\text{Capacidad del silo} = \text{Volumen}$$

$$\text{Volumen} = 5,875 \frac{t}{\text{día}} \cdot \frac{1 m^3}{0,67 t} \cdot 253 \text{ días} = 2218,304 m^3 \quad (8-10)$$

Diseño	
Modelo	Silo de descarga de barrera 
Tipo	Silo de fondo cónico
Materia prima	Material seco
Marca	BM Silofabrik ApS
Usos	<ul style="list-style-type: none"> - Para pellets. - Para materiales secos. - Para material mineral.
Material	Acero galvanizado
Característica importante	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad alta - El silo Mineral está diseñado para el almacenamiento de polvos y granulados con una densidad de hasta 1100 kg / m³.

Tabla 8-14. Hoja de especificaciones del silo industrial.

Algunos datos importantes aportados por el fabricante son los siguientes recopilados en la siguiente hoja, perteneciente a la hoja de especificaciones del equipo (Ver figura 8-6).

Medidas (mm)	Altura (m)	Contenido ³ (m ³)	Tamaño del motor Nom. capacidad ton / t	Medidor de carga	Horas de instalación
1050 x 1700	1,39 - 4,91	0,34 - 3,50	1,5 kW / 7,8	1,00	5 - 11
1300 x 1950	1,52 - 5,04	0,46 - 5,50	1,5 kW / 7,8	1,40	5 - 12
1550 x 2200	1,94 - 5,46	1,27 - 8,67	2,2 kW / 7,8	1,40	5 - 13
2050 x 2700	2,28 - 5,82	3,15 - 16,55	3,0 kW / 4,6	1,40	7 - 18,5
2550 x 3200	2,68 - 7,72	6,29 - 36,53	3,0 kW / 4,6	2,20	9 - 25
3000 x 3650	3,05 - 8,09	10,47 - 52,79	3,0 kW / 4,6	2,20	9 - 32

Figura 8-6. Datos de especificaciones del fabricante del silo.

8.16. Tornillo sin fin, elección y justificación.

Para la elección del transportador de tornillo sin fin, se ha basado en la capacidad de dicho tornillo en función del caudal de aceite que va a tratar y del material que transporte, en este caso tierra de batán lo cual se encuentra en condiciones para dicho equipo encontrado mediante un catálogo comercial de la marca Gimat como se observa en la tabla 8-15.

Diseño	
Modelo	Transportador de tornillo sin fin.
Materia prima	Material seco
Marca	Gimat
Usos	<ul style="list-style-type: none"> - Para caudales elevados. - Para transporter productos químicos. - Para material mineral. - Exento de dispersión de polvos.
Normativa	ATEX 94/9/CE

Tabla 8-15. Hoja de especificaciones del transportador del tornillo sin fin.

TRANSPORTADORES DE TORNILLO SINFÍN DIMENSIONES Y CAUDALES

MODEL	OUTSIDE DIAMETER	RPM MAX	OUTPUT M3/H	BULK DENSITY (KG/M3)	OUTPUT KG/H
TC.129/100	129	180	3,66	0,6	2.200
TC.139/120	139	180	6,66	0,6	4.000
TC.154/130	154	180	8,33	0,6	5.000
TC.168/140	168	180	10,33	0,6	6.200
TC.219/180	219	160	21,66	0,6	13.000
TC.273/250	273	130	41,66	0,6	25.000

Figura 8-7. Datos de diseño aportados por el fabricante del transportador del tornillo sin fin.

8.17. Depósitos, elección y justificación.

Los depósitos como se comentan en la memoria descriptiva tienen un fin de almacenaje y por ello es importante conocer el volumen ya que éste es el parámetro de diseño de estos equipos. La capacidad de cada uno de los depósitos se encuentra calculada en el apartado 9, aplicando la ecuación 8-11 para cada uno. De esta manera, se ha conocido el volumen en litros y se ha podido realizar una estimación sobre un depósito real como se encuentra recogido en la tabla 8-16.

$$Volumen = cantidad \frac{t}{día} \cdot \frac{1 \text{ día}}{12 \text{ horas}} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 L}{0,916 Kg} \cdot 12 \text{ horas} = cantidad \text{ litros} \quad (8 - 11)$$

Para el cálculo del volumen se ha estimado que las horas de trabajo de un día son 12 y realizando las conversiones de unidades se realiza la estimación.

Diseño	
Modelo	Almacenamiento fondo plano inclinado. 
Materia prima	<ul style="list-style-type: none"> - Aceite de oliva lampante. - Aceite de oliva lampante decolorizado. - Aceite de oliva desodorizado. - Aceite de oliva refinado.
Marca	Caldereria manzano.
Usos	Almacenamiento en correctas condiciones el producto.
Material	Acero inoxidable
Caudal para almacenar	Desde 350 t/día a 470 t/día.

Tabla 8-16. Hoja de especificaciones del depósito de almacenaje.

8.18. Mezclador agitador, elección y justificación.

En el diseño del mezclador agitador, se realiza una combinación con un depósito industrial como los explicado en el apartado 8.18. La elección está justificada bajo el caudal que es capaz de soportar, además el fabricante de dicho equipo proporciona información sobre la potencia necesaria para el cálculo del coste económico, como de velocidad de la hélice que se puede observar en la tabla 8-17. El catálogo también proporciona las partes del agitador con detalle como se observa en la figura 8-8, señalizadas cada una de las partes como eje hueco, brida, eje sólido, placa y demás.

Diseño	
Modelo	<p>Agitador industrial</p> 
Aplicación	Mezclador industrial para mezcla de aceite
Depósitos	Medianos y grandes.
Velocidades	20 a 3000 r.p.m
Motores	3,7 a 132 kW.
Tipo de hélice	Axial tripala de perfil tipo "S".
Diámetro de hélice	800 a 9000 mm.
Longitud máxima del eje	15.000 mm
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Acero carbono. - AISI 304. - AISI 316L.

Tabla 8-17. Hoja de especificaciones del agitador industrial.



Figura 8-8. Partes y dimensiones del agitador industrial del catálogo.

8.19. Desgasificador, elección y justificación.

El diseño del gasificador, como se explica en el apartado 8.6, es prácticamente como el de un intercambiador. Por ello, para estimar la potencia se ha aplicado la ecuación de transferencia de calor de la ecuación 8-11.

$$P = M \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (8 - 11)$$

Obteniendo una potencia aproximadamente de 374,12 kW, lo cuál es primordial para la elección del desgasificador industrial del catálogo comercial para poder estimar la semejanza. Como se observa en la figura 8-9, existen diversos modelos para la marca Amperis según la potencia que necesite cada uno de ellos. La importancia de esta elección se ve justificada también para poder realizar el análisis económico del apartado 8.9.

Por ultimo, dicho equipo al cumplir con los requisitos del material, como acero inoxidable y de presión y temperatura es el elegido.

Diseño	
Modelo	Desgasificador de aceite AEHV 
Material	Acero inoxidable.
Temperatura mínima aceite	27°C
Rendimiento	0,25-12%
Marca	Amperis products S.L

Tabla 8-18. Hoja de especificaciones del desgasificador.

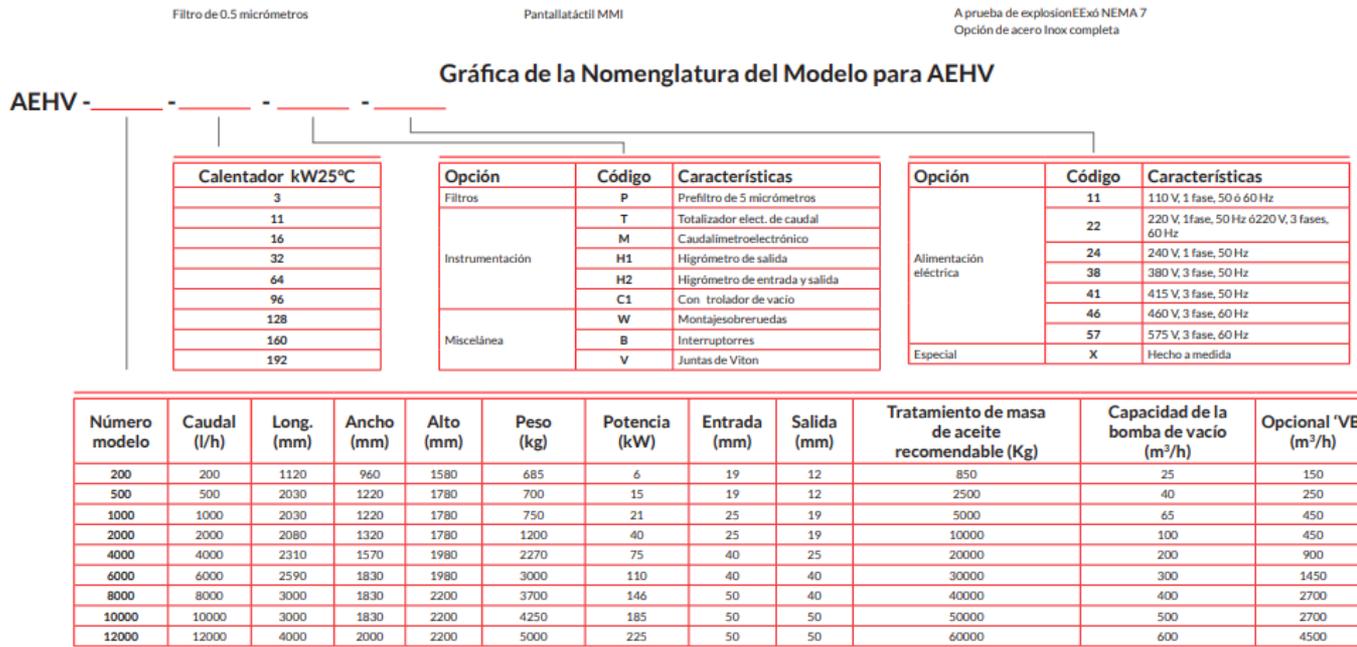


Figura 8-9. Datos y dimensiones de la hoja de especificaciones del desgasificador.

8.20. Desodorizador, elección y justificación.

El desodorizador es un equipo peculiar puesto que el equipo como tal no se ha encontrado, por lo que se ha optado por un columna de destilación con bandejas en su interior puesto que es la alternativa elegida para llevar a cabo este proceso de la etapa de desodorización. El equipo elegido, como se observa en la tabla 8-19, presenta una serie de características proporcionadas por el fabricante que son decisivas en la elección. Tanto temperatura, como presión y material coinciden y cumplen con las condiciones de operación puesto que se ha considerado apto. El diseño de este equipo se realiza mediante la estimación tomada de fuentes, que aportan información como la plasmada en la figura 8-10 siguiente. [30]

ton/24 h	Dimensiones			
	Diámetro ,mm	Altura, mm	Número de platos	Superficie, m ²
30	2300	7400	5	3x3
50	2300	9600	7	3x3
70	3000	8600	6	4x4
100	3000	10800	8	4x4
120	3000	11900	10	4x4

Figura 8-10. Dimensiones de una columna con bandejas en proporción al caudal.

Se puede observar en la figura 8-10 que existen diferentes dimensiones para la torre según las toneladas tratadas cada 24 horas. Partiendo de esto, y realizando una estimación aproximada se calcula que la torre usada tendrá un diseño semejante al primer modelo, es decir, un diámetro de 2300 mm, altura de 7400 mm, 5 número de

platos y de superficie 3x3 m².

Diseño	
Modelo	Desodorizador,Alfa Laval SoftColumnTM 
Material	Acero Inoxidable AISI 304
Presión de vapor saturado	30 bar.
Rango de temperaturas	25-260 °C
Altura	7.400 mm
Diámetro	2.300 mm
Bandejas	5
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Máxima seguridad. - Evita contaminación del aceite.

Tabla 8-19. Hoja de especificaciones del desodorizador.

8.21. Filtro, elección y justificación.

El parámetro de diseño de los filtros es el volumen de filtración, el caudal de filtrado y el tiempo. El tiempo es un parámetro relativo en este proyecto, puesto que se ha considerado que trabaja de manera continua. Sin embargo se ha estimado como tiempo de filtración 15 minutos, queriendo decir que es el tiempo que va a tardar

en realizar las filtraciones del caudal que el filtro reciba, pero esto ha sido una estimación de la situación más desfavorable. Aplicando la ecuación 8-12 como se observa a continuación se consigue el volumen aproximado de capacidad.

$$V = 475,875 \frac{t}{día} \cdot \frac{10^3 kg}{1 t} \cdot \frac{1 L}{0,916 kg} \cdot \frac{1 día}{12 horas} \cdot \frac{1 hora}{60 min} \cdot 15 min = 5411,60 L \quad (8 - 12)$$

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y las condiciones de operación tanto tipo de filtro, como temperatura y presión ha sido elegido el de la marca Filtration Group, como se recoge en la tabla 8-20.

Diseño	
Modelo	Filtros Automáticos y auto limpiantes FILTRATION GROUP 
Fluidos	Aceites viscosos.
Rango de filtración	25 µm hasta 2.000 µm
Marca	Caperva.
Caudales	10 l/h a 100 m³/h
Presión	10 bar
Temperatura	100°C
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Operación fiable e ininterrumpida. - Limpieza de fluidos con eficiencia alta. - Filtros compactos.

Tabla 8-20. Hoja de especificaciones del filtro automático autolimpiable.

9. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se realiza el análisis económico de la planta de producción de aceite de oliva refinado desarrollado hasta ahora. Debido a todo lo expuesto en los capítulos anterior, existen una serie de costes en la planta. La estimación económica de una planta química se realiza mediante la estimación de costes totales de inversión (CTI) y mediante la estimación de costes totales de producción (CTP), ambos costes son desarrollados en este capítulo, así como las ventas necesarias para obtener rentabilidad en este proceso.

9.1. Coste total de inversión.[34]

Los costes totales de inversion son también conocidos como los costes preoperativos porque son aquellos costes necesarios para conseguir poner la planta en marcha. Por ello el coste de inversión está compuesto por:

- El coste fijo, que es el más importante. Está relacionado con el diseño y la construcción de la instalación, como se puede observar en la figura 9-1. Supone el principal componente de la inversión, ya que supone entre un 80-90 %. El capital fijo a su vez está subdividido en:
 - Costes directos: referidos a los costes del material y mano de obra usado en la instalación, es decir, el coste de equipos, edificios y terrenos.
 - Costes indirectos: son los costes asociados con la instalación de la planta, es decir, la ingeniería y el contratista.

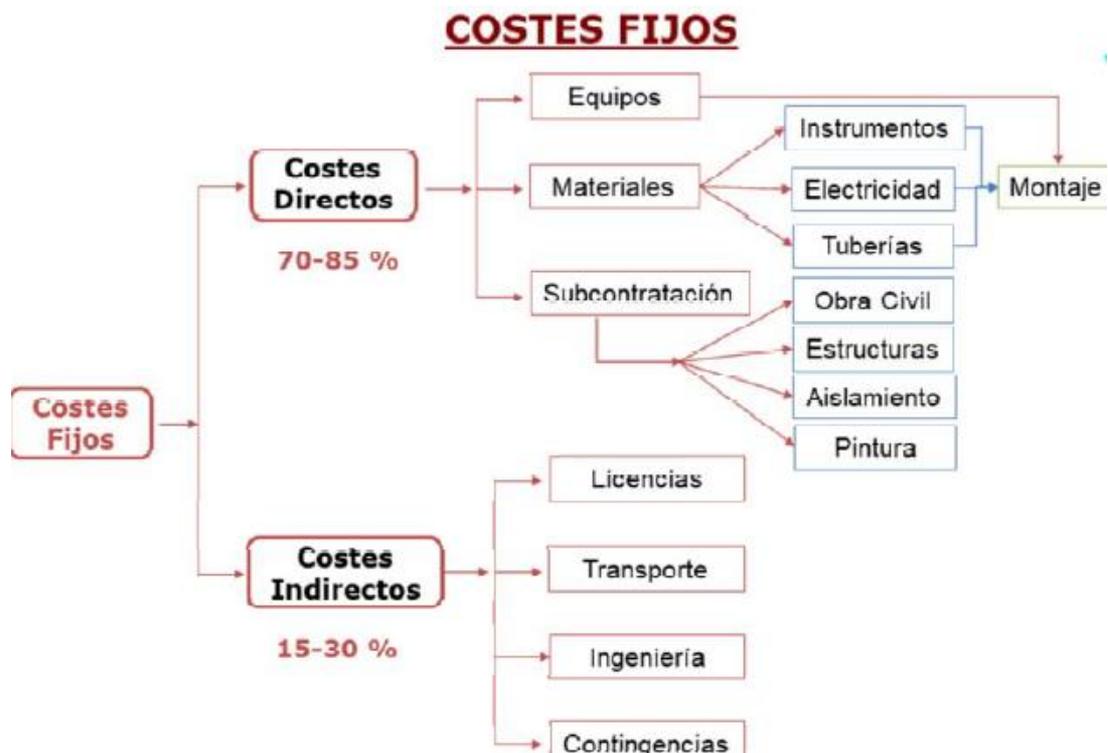


Figura 9-1. Clasificación de costes fijos de inversión.

En el desglose de los costes fijos como se muestra en la figura 9-1 anterior, es necesario tener en cuenta todos los aspectos que posee una planta industrial del sector químico. El coste de contingencias, supone un sobrecoste que se tiene que tener en cuenta con el fin de proteger al proyecto ante posibles riesgos no previstos pero que suelen aparecer prácticamente en todos los proyectos, como por ejemplo: errores de diseño y montaje, que se descubren más adelante y hacen retroceder en el proceso, produciendo retrasos de licencias, entregas y demás.

La ecuación que se aplica para el coste total de inversión:

$$C.T.I = CF + (CA + CC) \quad (9-1)$$

Donde:

- C.T.I = coste total de inversión.
 - CF=costes fijos.
 - CA= Capital de arranque.
 - CC= capital circulante.
- Capital de arranque (CA): Se trata de la cantidad de dinero necesaria para pagar los gastos iniciales del negocio, poder alcanzar equilibrio y obtener ganancias. Es un capital importante debido a que es necesario para el arranque de la planta, donde hay que tener en cuenta:
 - Comprobación de los equipos, conocido como “Comissioning”.
 - Calibración de instrumentos.
 - Pruebas de arranque.
 - Posibles modificaciones del proceso por errores de diseño.
 - Capital circulante (CC): Se trata de la inversión necesaria para poder poner en funcionamiento la planta y operar inicialmente hasta que se obtengan beneficios. Normalmente es un capital que se reserva para posibles gastos y su cantidad es la equivalente a los gastos de una mensualidad. Suponen de forma general un 10-20% del coste total de inversión.

Para la estimación del coste total de inversión, se realiza teniendo en cuenta que:

- Los costes fijos se estiman a partir de los equipos ó unidades principales por los que está formada la planta. A su vez, los costes de los equipos se realizan a partir de varios métodos posibles, según el dato de partida que se tiene. Como se dice a continuación:
 - Partiendo del presupuesto, es decir, es obtenido por los datos suministrados por el fabricante de cada equipo.
 - Aplicando la Regla de Williams, que consiste en calcular el precio del equipo comparándolo con un equipo parecido. Para ello se aplica la siguiente ecuación, Ecuacion 9-2.:

$$\frac{C^{\circ}_{equipo A}}{C^{\circ}_{equipo B}} = \left(\frac{A_A}{A_B}\right)^N \quad (9-2)$$

Donde:

$C^{\circ}_{equipo A}$ = Coste del equipo A a partir de los parámetros.

$C^{\circ}_{equipo B}$ = Coste del equipo B a partir de los parámetros.

A_A = Capacidad del equipo A.

A_B = Capacidad del equipo B.

$N =$ Exponente del coste, dependiendo del tipo de equipo. Entre 0,4 – 0,8.

Conociendo el coste de un equipo similar, aplicando la regla de Williams, se ha obtenido el coste de cada equipo. Se ha considerado que el coste obtenido de cada uno de los equipos implicados es el coste total de dicho equipo, es decir, no ha hecho falta realizar corrección de material, tiempo y presión, debido a que los equipos buscados en los catálogos con el respectivo precio han sido asignados con el fin de que cumplan dicho requisito. [35]

Para el cálculo del coste total de inversión de la planta se aplica el método De hand. Aunque el método más preciso sería el de Chilton, no se aplica puesto que habría que tener el coste de las tuberías, el coste de construcción y demás, los cuales no se han entrado en detalle en el proyecto. El método de De Hand, consiste en aplicar un sumatorio de cada uno de los costes de los equipos multiplicado por el factor correspondiente según el equipo (Ver ecuación 9-3).

$$C_{I,G} = \sum(f_{h,a} \cdot C_{T,a}) \quad (9-3)$$

Para obtener los factores de De Hand, se introduce en la figura 3 del anexo I e igualmente para obtener el exponente del coste dependiendo del tipo de equipo a partir de la figura 4 de exponentes de Williams para equipos que se encuentra en el anexo I.[36]

9.2. Coste de intercambiadores.

Para el cálculo de los costes de los intercambiadores, se aplica el procedimiento anterior. Para estos equipos se usa de referencia un intercambiador de carcasa y tubo de la marca Fluitec con una potencia de 60kW y tiene un precio de 2.476,35 euros. Conociendo el parámetro de diseño de cada uno de los intercambiadores, la potencia y área, el precio de cada uno de los intercambiadores se recoge en la tabla 9-1.

○ Intercambiador, E001.

$$\frac{C^{\circ}_{\text{equipo A}}}{C^{\circ}_{\text{equipo B}}} = \left(\frac{A_A}{A_B}\right)^N$$

$$C^{\circ}_{E001} = 2.476,35 \cdot \left(\frac{815,972}{60}\right)^{N=0,6}$$

$$C^{\circ}_{E001} = 11.855,67 \text{ Euros.}$$

○ Intercambiador, E002.

$$\frac{C^{\circ}_{\text{equipo A}}}{C^{\circ}_{\text{equipo B}}} = \left(\frac{A_A}{A_B}\right)^N$$

$$C^{\circ}_{E002} = 2.476,35 \cdot \left(\frac{509,22}{60}\right)^{N=0,6}$$

$$C^{\circ}_{E002} = 8.934,38 \text{ Euros.}$$

○ Intercambiador, E003.

$$\frac{C^{\circ}_{\text{equipo A}}}{C^{\circ}_{\text{equipo B}}} = \left(\frac{A_A}{A_B}\right)^N$$

$$C^{\circ}_{E003} = 2.476,35 \cdot \left(\frac{311,77}{60}\right)^{N=0,6}$$

$$C^{\circ}_{E003} = 11.819,00 \text{ Euros.}$$

○ **Intercambiador, E004.**

$$\frac{C^{\circ}_{\text{equipo A}}}{C^{\circ}_{\text{equipo B}}} = \left(\frac{A_A}{A_B}\right)^N$$

$$C^{\circ}_{E004} = 2.476,35 \cdot \left(\frac{509,22}{60}\right)^{N=0,6}$$

$$C^{\circ}_{E004} = 11.229,08 \text{ Euros.}$$

Por lo tanto, y como se recoge en la siguiente tabla 9-1, el coste total de intercambiadores en la inversión para poder poner en marcha la planta supone un total de 43.838,136 Euros.

Costes de intercambiadores de calor	
Intercambiador de calor, E001	11.856 Euros.
Intercambiador de calor, E002	8.934 Euros.
Intercambiador de calor, E003	11.819 Euros.
Intercambiador de calor, E004	43.838 Euros.
Costes totales de intercambiadores	43.838 Euros.

Tabla 9-1. Costes de intercambiadores de calor.

9.3. Coste de bombas.

Para el cálculo de las bombas, siguiendo el mismo procedimiento, mediante el caudal máximo que puede tratar. Para este tipo de equipo, se ha usado de referencia el precio de una bomba que tiene como caudal a tratar establecido 9L/min, con un precio aproximado de 308,96 Euros.

○ **Bombas B001, B002 y B003.**

Las bombas de engranajes B001, B002 y B003 poseen todas las mismas condiciones de operación, tanto temperatura como caudal por lo tanto su precio va a suponer el mismo.

$$C^{\circ}_{B001} = 308,96 \cdot \left(\frac{356,319}{9}\right)^{N=0,64}$$

$$C^{\circ}_{B001} = 3.253,598 \text{ Euros.}$$

$$C^{\circ}_{B001} = C^{\circ}_{B002} = C^{\circ}_{B003} = 3.253,598 \text{ Euros.}$$

- **Bomba B004.**

$$C^{\circ}_{B004} = 308,96 \cdot \left(\frac{360,773}{9}\right)^{N=0,64}$$

$$C^{\circ}_{B004} = 3.279,569 \text{ Euros.}$$

- **Bombas B005 y B006.**

$$C^{\circ}_{B005} = 308,96 \cdot \left(\frac{340,36}{9}\right)^{N=0,64}$$

$$C^{\circ}_{B005} = C^{\circ}_{B006} = 3.159,567 \text{ Euros}$$

- **Bomba B007.**

$$C^{\circ}_{B007} = 308,96 \cdot \left(\frac{265,34}{9}\right)^{N=0,64}$$

$$C^{\circ}_{B007} = 2.694,143 \text{ Euros}$$

Después de los cálculos plasmados, el coste total de las siete bombas de impulsión necesarias, suponen un coste total de 22.053,64 Euros como se puede observar recogido en la tabla 9-2.

Costes de bombas de engranajes	
Bomba, B001	3.254 Euros.
Bomba, B002	3.254 Euros.
Bomba, B003	3.254 Euros.
Bomba, B004	3.280 Euros.
Bomba, B005	3.160 Euros.
Bomba, B006	3.160 Euros.
Bomba, B007	2.694 Euros.
Costes totales de bombas	22.054 Euros.

Tabla 9-2. Costes de bombas.

9.4. Coste de tolvas.

La estimación de tolvas se ha realizado realizando una división, por una parte las tolvas de recepción y de descarga que son parecidas y se ha aplicado el mismo precio de referencia. Sin embargo, por otra parte se encuentran las tolvas de pesaje. Los cálculos se muestran a continuación y recogidos en la tabla 9-3. La referencia de tolva de almacenaje tanto para recepción como descarga, es una tolva de 10 m³ con un precio de 2.331,63 Euros.

$$C^{\circ}_{ALMACENAJE} = 2.331,63 \cdot \left(\frac{5,344}{10}\right)^{N=0,65}$$

$$C^{\circ}_{ALMACENAJE} = 1.551,5751 \frac{\text{Euros}}{\text{tolva almacenaje}}$$

La referencia tomada para la estimación de las tolvas de pesaje es una tolva comercial de este tipo con un volumen de 4,8 m³ con un precio aproximado de 2.515,52 Euros.

$$C^{\circ}_{PESAJE} = 2.515,52 \cdot \left(\frac{5,344}{4,8}\right)^{N=0,65}$$

$$C^{\circ}_{PESAJE} = 2.697,33 \text{ Euros}$$

Por lo tanto, el coste total de tolvas, teniendo en cuenta que de almacenaje hay cuatro y de pesaje dos se queda en torno a 11.600,96 Euros. (Ver tabla 9-3)

Costes de tolvas	
Tolva de recepción, T001	1.552 Euros.
Tolva de pesaje, T002	2.697 Euros.
Tolva de descarga, T003	1.552 Euros.
Tolva de recepción, T004	1.552 Euros.
Tolva de pesaje, T005	2.697 Euros.
Tolva de descarga, T006	1.552 Euros.
Coste total de tolvas	11.601 Euros.

Tabla 9-3. Costes de tolvas.

9.5. Coste de depósitos.

La estimación de los costes de inversión de los equipos con la finalidad de depósitos ha sido calculada mediante la referencia de un depósito industrial de acero inoxidable con un volumen de 60.000 litros y un precio aproximado de 4.191,02 Euros. En el proceso de refinación de aceite de oliva lampante existen cuatro depósitos y una decoloradora, la cuál se estimado mediante el mismo método porque se ha tomado como un recipiente de la misma manera.

○ Depósitos, D001 y D002.

Ambos depósitos poseen el mismo volumen, puesto que el caudal de aceite que transcurre es la misma. Siguiendo el mismo procedimiento queda como se muestra a continuación. El caudal de estos depósitos es de 470 t/día, aplicando la ecuación 9-4, y suponiendo que las horas de trabajo en un día son 12 se obtiene que el volumen es aproximadamente de 513.100 litros.

$$Volumen = 470 \frac{t}{día} \cdot \frac{1 día}{12 horas} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 L}{0,916 Kg} \cdot 12 horas = 513.100 \text{ litros} \quad (9 - 4)$$

$$C^{\circ}_{D001} = 4.191,02 \cdot \left(\frac{513.100}{60.000} \right)^{N=0,65} = 16.910,35 \text{ Euros.}$$

$$C^{\circ}_{D001} = C^{\circ}_{D002} = 16.910,35 \text{ Euros}$$

○ Decoloradora, DEC001.

$$Volumen = 475,875 \frac{t}{día} \cdot \frac{1 día}{12 horas} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 L}{0,916 Kg} \cdot 12 horas = 519.514,19 \text{ litros}$$

$$C^{\circ}_{DEC001} = 4.191,02 \cdot \left(\frac{519.514,1921}{60.000} \right)^{N=0,65} = 17.047,46 \text{ Euros.}$$

○ Depósito, D003.

$$Volumen = 448,95 \frac{t}{día} \cdot \frac{1 día}{12 horas} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 L}{0,916 Kg} \cdot 12 horas = 490.120,08 \text{ litros}$$

$$C^{\circ}_{DEC001} = 4.191,02 \cdot \left(\frac{490.120,08}{60.000} \right)^{N=0,65} = 16.414,136 \text{ Euros.}$$

○ **Depósito, D004.**

$$Volumen = 350 \frac{t}{día} \cdot \frac{1 día}{12 horas} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 L}{0,916 Kg} \cdot 12 horas = 382.096,06 \text{ litros}$$

$$C^{\circ}_{DEC001} = 4.191,02 \cdot \left(\frac{382.096,06}{60.000} \right)^{N=0,65} = 13.961,548 \text{ Euros.}$$

Desglosados los cálculos de cada uno de los equipos, el coste total de los depósitos es aproximadamente 600.758,03 Euros, como queda ilustrado en la tabla 9-4.

Coste de depósitos	
Depósito, D001	16.910 Euros.
Depósito, D002	16.910 Euros.
Decoloradora, DEC001	17.047 Euros.
Depósito, D003	16.414 Euros.
Depósito, D004	13.962 Euros.
Coste total de depósitos	600.758 Euros.

Tabla 9-4. Costes de depósitos.

9.6. Coste de válvulas.

La estimación del coste de las válvulas ha sido tomado directamente de referencias de catálogos comerciales de válvulas del mismo tipo con su precio correspondiente. El desglose se encuentra recogido en la tabla 9-5.

Costes de válvulas.	
7 Válvulas de mariposa	2.320 Euros.
5 Válvulas de bola	268 Euros.
2 Válvulas de aguja	44 Euros.
Coste total de válvulas	2.632 Euros.

Figura 9-5. Costes de válvulas.

9.7. Coste del resto de equipos.

Hasta ahora se han desarrollado los costes de equipos del mismo tipo para facilitar su explicación, el resto de equipos al ser diferentes y únicos el coste se desarrolla a continuación y se muestran sus costes en la tabla 9-6.

○ **Mezclador agitador.**

La estimación del mezclador agitador ha sido subdividida, por una parte el coste del mezclador que se ha considerado como un depósito del mismo tipo que la decoloradora ya desarrollada lo que supone el mezclador un coste de 519.514 Euros. Por otra parte, el coste del agitador se ha realizado el mismo procedimiento pero tomando de referencia un agitador industrial con un coste de 275 euros para una potencia aproximada de ½ HP, es decir, 0,3728 kW. (Ver tabla 9-6).

$$C^{\circ}_{MEZCLADOR} = 519.514,1921 \text{ Euros.}$$

La potencia del agitador usado en el proceso es de 67,85 kW, por lo tanto, el coste del agitador queda 4.225,435 euros.

$$C^{\circ}_{AGITADOR} = 275 \cdot \left(\frac{67,85}{0,3728} \right)^{N=0,525} = 4.225,435 \text{ Euros} \quad (9 - 5)$$

$$C_{M001} = 523.739 \text{ Euros.}$$

○ **Desodorizador DD001.**

El coste de este equipo tiene una peculiaridad, puesto que no se tiene los costes del equipo, se ha usado una columna con bandejas en su interior, se ha aplicado el precio real comercial de una columna de destilación de la marca Alfa Laval, el coste de este equipo queda plasmado en la tabla 9-6.

○ **Filtro automático autolimpiable, F001.**

La estimación del coste del filtro autolimpiable, se ha realizado mediante el método explicado. Para ello, el volumen de filtrado se obtiene mediante la ecuación de filtración, donde se estima que el tiempo de filtrado es entre 15-30 minutos, y se ha optado por la opción más desfavorable, suoniendo que este tiempo será aproximadamente 15 minutos.

$$Q = 475,875 \frac{t}{día} \cdot \frac{10^3 Kg}{1 t} \cdot \frac{1 L}{0,916 Kg} \cdot \frac{1 día}{12 horas} \cdot \frac{1 hora}{60 minutos} = 360,77 \frac{L}{min} \quad (9 - 6)$$

$$V_{filtrado} = 360,77 \frac{L}{min} \cdot 15 \text{ minutos} = 5.411,60 L$$

Conocido el volumen filtrado aproximado, tomando de referencia un filtrador automático real con una capacidad de volumen de 600L con un coste de 585,10 euros, se estima el coste de el filtro (Ver ecuación 9-7 y tabla 9-6).

$$C^{\circ}_{F001} = 585,10 \cdot \left(\frac{5.411,6}{600}\right)^{N=0,6} = 2.189,448 \text{ Euros} \quad (9 - 7)$$

○ **Silo, S001.**

El silo usado para la tierra de batán, que posee una densidad de 0,67 t/m³ descarga un caudal de tierras aproximado de 5,875 t/día. Para la estimación de este equipo, por tanto, necesita el conocimiento del volumen de capacidad que posee.

$$Volumen = 5,875 \frac{t}{día} \cdot \frac{1 m^3}{0,67 t} \cdot 253 \text{ días} = 2.218,304 m^3 \quad (9 - 8)$$

El silo industrial de referencia tomado tiene una capacidad de 6238 m³ y un precio aproximado de 12.537,87 euros, por lo tanto, partiendo de esto y aplicando el método de Williams la estimación del equipo usado en el proceso de refinación se encuentra entre 6.402,62 euros aproximadamente.

$$C^{\circ}_{S001} = 12.537,87 \cdot \left(\frac{2.218,304}{6.238}\right)^{N=0,65} = 6.402,62 \text{ Euros} \quad (9 - 9)$$

○ **Desgasificador, DD001.**

La estimación del desgasificador del proceso se realiza igual que el resto de los equipos mediante el método de Williams, usando de referencia un desgasificador de aceite con un precio de 3552,40 euros y como parámetro de diseño, la potencia, cuyo rango se encuentra entre 2-40W.

$$C^{\circ}_{DD001} = 3.552,40 \cdot \left(\frac{374.125}{40}\right)^{N=0,70} = 16.989,92 \text{ Euros} \quad (9 - 10)$$

Costes de equipos restantes.	
Mezclador agitador, M001	523.740 Euros.
Desodorizador, DD001	755.100 Euros.
Filtro automático, F001	2.189 Euros.
Silo, S001	6.402 Euros.
Desgasificador, G001	16.990 Euros.
Coste total equipos restantes	1.304.421 Euros.

Figura 9-6. Costes de equipos restantes.

9.8. Cálculos de costes para la inversión.

Explicado todo lo anterior, el coste total de inversión supone 6.662.517 euros antes de poner en marcha la instalación. Este cálculo como se ha explicado se ha realizado con la estimación del coste de los equipos mediante el método de Williams y aplicando el método de De Hand se ha conseguido un valor aproximado de la inversión total de la planta. (Ver tabla 9-7).

Estimación de coste total de inversion (CTI)	
Capital Fijo	1.985.305 Euros.
- Equipos	
Intercambiadores de calor	43.838 Euros.
Bombas	22.054 Euros.
Depósitos	600.758 Euros.
Válvulas	2.632 Euros.
Mezclador agitador	523.740 Euros
Desodorizador	755.100 Euros.
Fitro	2.189 Euros.
Silo	6.403 Euros.
Tolvas	11.601 Euros.
Desgasificador	16.990 Euros.
Costes totales de equipos	1.985.305 Euros.
Costes totales de inversion (C_{I,G})	6.662.517 Euros.

Tabla 9-7. Desglose de costes totales de inversión.

9.9. Costes totales de producción.

Los costes totales de producción son los gastos necesarios para mantener el proceso, los equipos en funcionamiento y suministro de materias primas. En estos costes, existe una subdivisión en la que se encuentran los costes variables, los costes fijos y gastos generales.

- Los costes variables son aquellos que suponen el gasto de materias primas que en este caso se trata del aceite de oliva lampante. También lo forman materias auxiliares y servicios auxiliares como se observa en el figura 9-2
- Los costes fijos, son aquellos que son constantes durante el curso anual de la empresa, en ellos entran los salarios de los empleado los cuáles no varían, servicio técnico y gestion de calidad.
- Los gastos generales son aquellos que ocurren durante la producción del aceite de oliva

refinado donde se incluyen todo tipo de costes a nivel administrativos como de almacenaje y distribución que irán variando en función de las necesidades en cada momento.



Figura 9-2. Desglose de los costes totales de producción.

9.10. Cálculo de costes variables.

○ **Materias primas.**

La materia prima en el proceso es aceite de oliva lampante cuyo precio actualizado es de 1,903 euros/kg. La cantidad de aceite necesario es de 470 t/día suponiendo un coste de 226.285.730 Euros/ año (ver ecuación 9-11).

$$\text{Coste materia prima} = 470 \frac{t}{\text{día}} \cdot \frac{10^3 \text{Kg}}{1 t} \cdot \frac{253 \text{ días}}{1 \text{ año}} \cdot 1,903 \frac{\text{euros}}{\text{kg}} = 226.285.730 \frac{\text{euros}}{\text{año}}. \quad (9 - 11)$$

○ **Materias auxiliares.**

Las materias auxiliares implicadas en el proceso son las tierras. Las tierras son de batán, que tienen un precio aproximada actualizado de 10,86 euros/1,7 kg (Ver ecuación 9-12).

$$\text{Coste materia auxiliares} = 5,875 \frac{t}{\text{día}} \cdot \frac{253 \text{ días}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{10,86 \text{ euros}}{0,00017 t} = 94.898.984 \frac{\text{euros}}{\text{año}}. \quad (9 - 12)$$

○ **Servicios auxiliares.**

Los servicios auxiliares necesarios en el proceso son vapor saturado para precalentar y calentar, agua de refrigeración para enfriamiento del aceite y electricidad para el consumo de potencia de los equipos y que se mantega la planta en funcionamiento.

- Vapor: la cantidad de vapor necesaria es en un primer calentamiento en el intercambiador E001, que se introducen 32,578 t/día, para otro precalentamiento en el intercambiador E003 es necesario 15,007 t/días y 20,74 t/días para el desodorizador. El precio de vapor actualizado se encuentra en 0,45 euros/Kg, por lo tanto el coste total de consumo de vapor es de 7.779.484,35 euros/año (Ver ecuaciones 9-13 y 9-14)

$$\text{Cantidad de vapor necesario} = 32,578 + 15,007 + 20,746 = 68,331 \frac{t}{\text{día}} \quad (9 - 13)$$

$$\text{Coste de vapor} = 0,45 \frac{\text{euros}}{\text{kg}}$$

$$\text{Coste total de vapor} = 68,331 \frac{t}{\text{día}} \cdot \frac{253 \text{ días}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{10^3 \text{ Kg}}{1 t} \cdot \frac{0,45 \text{ euros}}{\text{Kg}} = 7.779.484,35 \frac{\text{euros}}{\text{año}} \quad (9 - 14)$$

- Agua de refrigeración: la cantidad de agua refrigeración necesaria en una planta industrial es fundamental tenerla a disposición en cualquier momento. En este proceso de refinación se consume 280,12 t/días de agua.

$$\text{Coste de agua de refrigeración} = 1,75 \frac{\text{euros}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Coste total agua} = 280,12 \frac{t}{\text{día}} \cdot \frac{253 \text{ días}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{10^3 \text{ Kg}}{1 t} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Kg}} \cdot \frac{1,75 \text{ euros}}{\text{m}^3} = 124.023,13 \frac{\text{euros}}{\text{año}}$$

- Electricidad: el coste de electricidad se realiza aplicando la ecuación 9-15, donde la potencia es la correspondiente de cada uno de los equipos multiplicado por el factor de consumo eléctrico según sea el tipo de equipo.

$$\text{Coste de electricidad} = 0,0504 \frac{\text{euros}}{\text{kW} \cdot \text{h}}$$

$$\text{Coste consumo de electricidad} = \text{precio} \cdot \sum (f \cdot \text{potencia}) \quad (9 - 15)$$

$$\text{Coste consumo de electricidad} = 518.375 \frac{\text{euros}}{\text{año}}$$

Por todo ello, el desglose de esta serie de gastos suponen los costes variables de la planta industrial que como se encuentra en la tabla 9-9, supone 329.606.596,7 euros/año.

9.11. Cálculo de costes fijos.

En los costes fijos se suponen solamente los gastos de los salarios de los empleados. El número de empleados

estimado para la planta de producción de aceite de oliva refinado es de 140 personas, dado que las magnitudes de producción son muy grandes. Aplicando la ecuación 9-16, el gasto fijo de empleados se encuentra recogido en la tabla 9-9.

$$M.O.D = N^{\circ} \text{ operarios} \cdot \text{Salario} \cdot \text{Factor capacidad} \quad (9 - 16)$$

$$M.O.D = 140 \cdot \frac{24.042 \text{ euros}}{\text{año}} \cdot 0,85 = 2.860.998 \frac{\text{euros}}{\text{año}}$$

9.12. Cálculo de generales.

Los costes generales de la planta del proyecto son la distribución de las tierras, es decir, el coste que supone la gestión de las tierras como residuo por una empresa autorizada. Dicha distribución consta tanto del tratamiento de residuos como del transporte. Los datos de dichas tierras se encuentran en la tabla 9-8 que a continuación se puede observar y los costes calculados mediante la ecuación 9-17.

$$\text{Coste de tierras} = 5,875 \frac{t}{\text{día}} \cdot 253 \frac{\text{días}}{1 \text{ año}} \cdot 22 \frac{\text{euros}}{t} = \frac{32.700 \text{ Euros}}{\text{año}} \quad (9 - 17)$$

Gestión de tierras	
Cantidad de tierras	5,875 t/día.
Precio de gestión	22 euros/t.

Tabla 9-8. Datos de la gestión de tierras.

9.13. Resultados de los cálculos totales de producción.

Debido a todo lo comentado, el total de los costes de producción es una cantidad bastante elevada como se observa en la tabla adjunta 9-9.

Costes totales de producción (CTP)	
Costes variables.	
Materia Prima.	226.285.730 Euros / año.
- Aceite de oliva lampante	
Materias auxiliares: tierra de batán.	94.898.984 euros/ año.
Auxiliares.	
- Vapor.	7.779.484 euros/año.
- Agua de refrigeración.	124.023 euros/año.
- Electricidad.	518.375 euros/año.
Total de costes variables	329.606.597 euros/año.
Costes fijos	
- Personal	2.860.998 euros/ año.
Costes generales	
Distribución.	
- Gestión de tierras (empresa autorizada)	65.400 euros/año.
Costes totales de producción	332.532.995

Tabla 9-9. Desglose de costes totales de producción.

9.14. Costes total de la refinería de aceite.

Los costes de la planta el primer año para ponerse en marcha corresponden con la suma de costes totales de inversión y costes totales de producción, calculados en los apartados anteriores. El coste es calculado mediante la ecuación 9-18, y recogido como se puede observar en la tabla 9-10.

$$\text{Coste de la refinería} = C.T.I + C.T.P \quad (9 - 18)$$

$$\text{Coste total} = 6.662.517,094 + 332.532.995,2 = 339.195.512 \text{ Euros}$$

Costes totales de la refinería	
Costes totales de inversión	6.662.517Euros.
Costes de totales de producción	332.532.995Euros.
Costes totales de la refinería	339.195.512Euros.

Tabla 9-10. Desglose de costes totales de la refinería.

9.15. Rentabilidad de la planta.

La rentabilidad de la planta es determinada mediante el estudio de viabilidad económica de la planta industrial a partir del análisis de la tasa interna de retorno, conocida como TIR y del análisis del valor actual neto, conocido como VAN. El VAN y el TIR son métodos actualizados que tienen en cuenta el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial. De esta manera, se tiene una idea real del riesgo que supone el Proyecto.

Los costes desglosados a lo largo del apartado 9, permiten conocer el desembolso inicial correspondiente a los costes de inversión, así como los costes de producción a tener en cuenta en los flujos de caja operaciones para las salidas. Los flujos de caja son la diferencia entre cobros y pagos anuales, es decir, lo que gana cada año la planta por haber hecho la inversión.

Los beneficios que son los costes de entrada a la planta es la venta de aceite, la cual mediante la siguiente ecuación se obtiene. El cálculo de las entradas en el proyecto, es decir, de los beneficios se realiza mediante la ecuación 9-19, mediante el precio del aceite de oliva refinado y la cantidad producida. El beneficio real es el margen restante entre el aceite de oliva lampante y el aceite de oliva refinado, pero el coste de compra de aceite de oliva lampante está integrado en los costes de producción de la planta como consumo de materias primas.

$$1,9250 \frac{\text{Euros}}{\text{Kg}} \cdot 350 \frac{\text{t}}{\text{día}} \cdot 10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{t}} \cdot \frac{253 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 170.458.750 \frac{\text{Euros}}{\text{año}}. \quad (9 - 19)$$

$$\text{Entradas} = 170 \text{ M}$$

Las salidas del proyecto son aquellos costes de producción, es decir, materias primas, auxiliares, electricidad y todo aquello que implique mantener la planta en funcionamiento. Por otra parte, la amortización es el proceso mediante el cual se distribuyen gradualmente los costos de una deuda por medio de pagos periódicos. En este caso, la deuda es el desembolso inicial, que se ha considerado una amortización lineal de 10 años. Aplicando el porcentaje representativo de impuestos, queda un flujo de caja negativo de 212 millones de euros.

Flujos de caja operacionales	
Entradas	170 M
Salidas	332,5 M
-Amortización	(6.6 M/ 10)
BAI	(163,6 M)
Imp (30%)	(50 M)
BN	(-212,8 M)
+ Amortización	6,6/10 M
BN'	(212 M)
CF_i	(212 M)

Tabla 9-11. Desglose de flujos de cajas operacionales.

El cálculo de VAN se aplica mediante la siguiente ecuación 9-20:

$$VAN = A + \sum_1^{10} \frac{CF_i}{(1+k)^i} \quad (9-20)$$

Donde:

$A =$ Desembolso inicial.

$CF_i =$ Flujos de caja.

$k =$ interés.

$$VAN = 6,6 M + \sum_1^{10} \frac{-212}{(1+k)^i}$$

Para que sea rentable la planta, el VAN debe de cumplir que como mínimo su valor sea igual a 0, por tanto, imponiendo la restricción de la ecuación 9-20 anterior queda tal que así. Como se puede observar en la figura 9-3, cuando el valor de VAN es igual a 0, el interés es igual a la tasa interna de retomo. Por ello, esto determina si merece la pena hacer la inversión ó no, en función de las pérdidas.

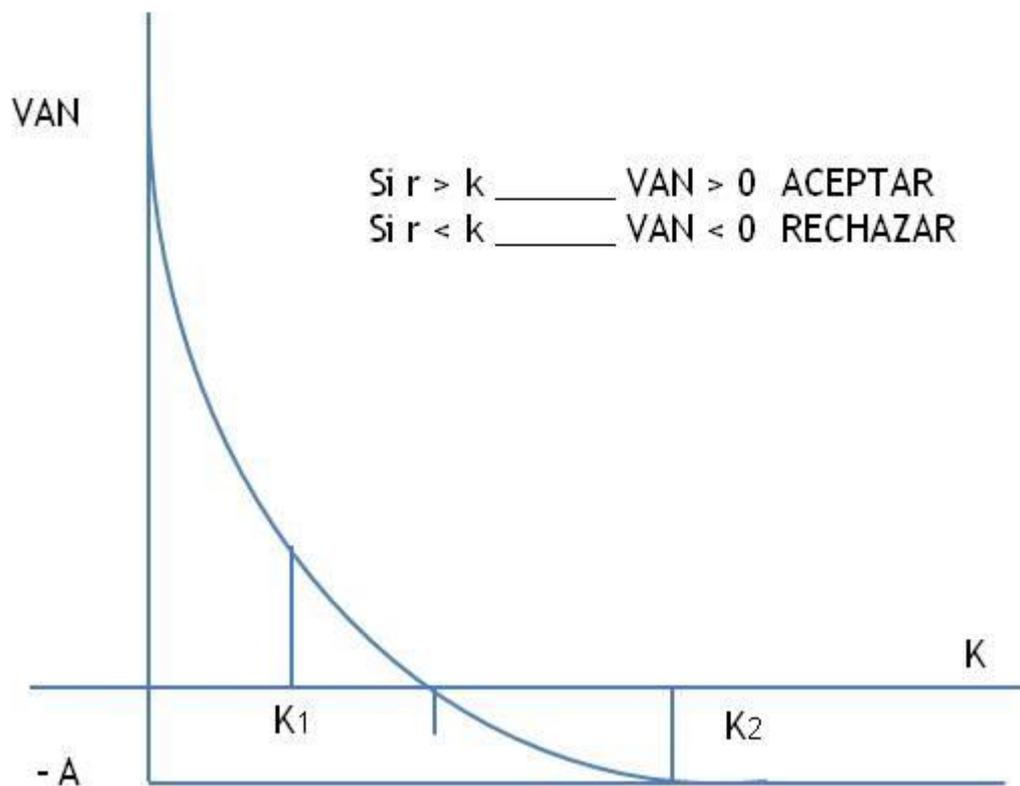


Figura 9-20. Gráfica representativa del VAN y TIR.

Al aplicar la restricción de $VAN=0$, la ecuación 9-20 anterior queda de tal manera:

$$0 = 6,6 M + \sum_1^{10} \frac{-212}{(1 + TIR)^i}$$

$$\frac{-6,6}{-212} = \sum_1^{10} \frac{1}{(1 + TIR)^i}$$

$$0,03 = \sum_1^{10} \frac{1}{(1 + TIR)^i}$$

El valor obtenido de 0,03 no tiene TIR relacionada para el período de 10 años. Lo cierto, es que la planta tiene una rentabilidad negativa porque el valor de TIR es mucho menor que el interés que debería de tener para poder continuar con el funcionamiento de este proyecto.

La planta con los valores asumidos en este estudio no presenta beneficios como se observa en la tabla 9-11, donde se encuentran todos los datos recogidos. Se ha observado que influyen mucho los costes de producción frente a las entradas que proporcionan las ventas del producto. Por tanto, para obtener rentabilidad en este proyecto habría que disminuir los costes de producción, en los que el precio de la tierra y de aceite de oliva lampante son bastantes caros en proporción con el resto. Una solución sería buscar otros fabricantes a mejores precios.

En la planta existen pérdidas durante el proceso de refinación de aceite de oliva lampante aproximadamente en torno al 25%, teniendo en cuenta que es una materia prima cara y que supone un gasto importante en el proyecto, evitar pérdidas sería un objetivo importante para conseguir rentabilidad.

La optimización del proceso de refinación, mediante un buen conocimiento del proceso, así como un control automático muy preciso podría tener consecuencias que afectarían de manera positiva a la planta porque provocaría una disminución del coste de auxiliares de vapor, electricidad y agua de refrigeración, así como de aceite de oliva lampante. Por otra parte, una buena organización y aprovechamiento de la planta podrían reducir el número de empleados necesarios bajando el coste salarial.

REFERENCIAS

- [1] (CAR/PL), “Prevención de la contaminación en la producción de aceite de oliva,” *Cent. Act. Reg. para la Prod. Limpia*, p. 138, 2000.
- [2] “¿Qué es el aceite de oliva virgen extra? | Las Valdesas.” <https://www.aceitedelasvaldesas.com/faq/origen-elaboracion-clasificacion-aceite-oliva/aceite-de-oliva-virgen-extra/> (accessed Nov. 30, 2020).
- [3] “E Libro.” <https://elibro--net.us.debiblio.com/es/ereader/bibliotecaus/35826> (accessed Dec. 01, 2020).
- [4] “Calidad y estrategias de competencia vertical en el sector del aceite de oliva y su influencia sobre la comercialización en los mercados internacionales - Universidad de Sevilla.” https://fama.us.es/discovery/fulldisplay?docid=alma991013273386304987&context=L&vid=34CBUA_US:VU1&lang=es&search_scope=all_data_not_idus&adaptor=Local_Search_Engine&tab=all_data_not_idus&query=any,contains,libro de aceite de oliva (accessed Dec. 01, 2020).
- [5] J. M. De La Cuesta Sáenz and J. M. Caballero Lozano, *Código del Sector del Aceite*. 2020.
- [6] “Catálogo técnico,” 2016.
- [7] “POOLred-Sistema de Información de Precios en Origen del Mercado de Contado del Aceite de Oliva.” <http://www.poolred.com/default.aspx> (accessed Dec. 01, 2020).
- [8] M. José Maluenda García Ingeniero Técnico Agrícola, “MAS OPORTUNIDADES PARA EL ACEITE DE OLIVA ESPAÑOL CON EL ACUERDO DE LIBRE COMERCIO ENTRE LA UE Y JAPON.”
- [9] M. David, G. Brenes, and J. S. Cañada, “ESTEPA*,” 2012.
- [10] “Aceite de oliva virgen y refinado: diferencias.” <https://www.vitonica.com/vitaminas/aceite-de-oliva-virgen-y-refinado-diferencias> (accessed Dec. 02, 2020).
- [11] P. D. E. Evacuación and A. Lluvias, “Memoria Descriptiva,” *Rev. Ing. y Arquít.*, vol. 075, no. edición especial, pp. 11–17, 1981.
- [12] “¿En qué consiste el refinado del aceite de oliva? | Las Valdesas.” <https://www.aceitedelasvaldesas.com/faq/origen-elaboracion-clasificacion-aceite-oliva/refinado-del-aceite-de-oliva/> (accessed Dec. 02, 2020).
- [13] ISOVER, “Aislamiento de Tuberías,” 2018, [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwisp5XZmZjpAhXUIXIEHVovCWQQFjAAegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.isover.es%2Fsites%2Fisover.es%2Ffiles%2Fassets%2Fdocuments%2Faislamiento-tuberias-2018.pdf&usg=AOvVaw0K0C0REv2H14rNGhkf>.
- [14] “Bombas de engranajes | Bombas industriales | Técnica de Fluidos.” <https://www.tecnicafluidos.es/bombas-de-engranajes-t-11-es> (accessed Dec. 02, 2020).
- [15] “Bomba de engranajes - EcuRed.” https://www.ecured.cu/Bomba_de_engranajes (accessed Dec. 02, 2020).
- [16] J. Wilson, “Cómo evitar y solucionar problemas con las válvulas de agua de alimentación de calderas,” *Celul. Y Pap.*, vol. 24, no. 5, pp. 8–13, 2009.
- [17] “Válvula de bola - EcuRed.” https://www.ecured.cu/Válvula_de_bola (accessed Dec. 02, 2020).

- [18] “¿Cuándo debería usar una válvula de mariposa? - GRM Válvulas.” <https://www.grm.com.es/es/project/cuando-deberia-usar-una-valvula-de-mariposa/> (accessed Dec. 02, 2020).
- [19] “Básculas Mor. Pesaje Industrial. Lleida, Cataluña, España.” <https://www.basculasmor.com/sistemas-pesaje-continuo.php> (accessed Nov. 27, 2020).
- [20] “Mezclador-dosificador ponderal - OPTIMIX 350 - TSM Control Systems - con tolva.” <https://www.directindustry.es/prod/tsm-control-systems/product-37217-2277473.html> (accessed Nov. 27, 2020).
- [21] “Agitador vertical VPS.” <https://cfgmixers.com/agitador-vertical-serie-vps/> (accessed Nov. 27, 2020).
- [22] “Transportador sin fin para manipulacion de materiales a granel | Gimat.” <https://www.gimatengineering.com/es/transporte-de-polvos/transportadores-de-tornillo-sin-fin> (accessed Nov. 27, 2020).
- [23] K. M. Cabrera Marino, “Иновационные подходы к обеспечению качества в здравоохранении No Title,” *Вестник Росздравнадзора*, vol. 6, pp. 5–9, 2017.
- [24] “Intercambiador de calor de coraza y tubos - Fluitec mixing + reaction solutions AG - líquido-líquido / líquido-gas / de acero inoxidable.” <https://www.directindustry.es/prod/fluitec-mixing-reaction-solutions-ag/product-40735-443218.html> (accessed Nov. 26, 2020).
- [25] “INDUSTRIAL LIQUID FILTRATION CONVEYOR BELTS Quality.”
- [26] “ATTSU DG: Desgasificador térmico.”
- [27] P. O. De Castro, “CONTROL DE HORNOS DE PROCESO,” pp. 1–7, 2020.
- [28] “(No Title).” <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4986/fichero/Capítulo3+Sistema+de+adsorción.pdf> (accessed Dec. 02, 2020).
- [29] O. A. Jaramillo, “INTERCAMBIADORES DE CALOR,” 2007.
- [30] R. Por, “Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla PLANTA DE REFINO DE ACEITES VEGETALES.”
- [31] “Fórmulas para determinación de la potencia de la bomba.” <https://es.slideshare.net/davidleoduran/frmulas-para-determinacin-de-la-potencia-de-la-bomba> (accessed Nov. 26, 2020).
- [32] “Bomba de fuerte carga - ROTAN®; HD - DESMI Pumping Technology A/S - de pintura / para productos agroalimentarios / de aceite.” <https://www.directindustry.es/prod/desmi-pumping-technology-s/product-21088-471239.html> (accessed Nov. 26, 2020).
- [33] “Adjustable Non-Return valve ANR-1500 - Global Control engineering Ltd - Catálogo PDF | Documentación técnica | Brochure.” <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/global-control-engineering-ltd/adjustable-non-return-valve-anr-1500/213197-922922.html#open> (accessed Nov. 26, 2020).
- [34] E. P. Estévez, “BLOQUE I Parte II : Diagramas y procesos en Ingeniería Química,” 2019.
- [35] A. Naiara, A. Beñat, and Fernandez-Villa, “Evaluación económica,” *Iniciativas económicas para el Desarrollo local viabilidad y Planif.*, p. 46, 2008, [Online]. Available: http://www.dhl.hegoa.ehu.es/iedl/Materiales/19_Evaluacion_economica.pdf.
- [36] M. De, L. D. E. Adquisici, and D. E. E. M. Correlaciones, “ANEXO I,” pp. 37–65.

GLOSARIO

ISO: International Organization for Standardization	4
UNE: Una Norma Española	4

ANEXO I

TABLA A-1. Propiedades del agua saturada: líquido – vapor. Tabla de Presiones

P (kPa)	T (°C)	v (m ³ /kg)		u (kJ/kg)		h (kJ/kg)		s (kJ/kg K)		
P _s	T _s	Líquido saturado v _{ls} × 10 ³	Vapor saturado v _{vs}	Líquido saturado u _{ls}	Vapor saturado u _{vs}	Líquido saturado h _{ls}	Vaporización λ	Vapor saturado h _{vs}	Líquido saturado s _{ls}	Vapor saturado s _{vs}
0,611	0,01	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
1	6,98	1,0000	129,21	29,3	2385,0	29,30	2484,9	2514,2	0,1059	8,9756
2	17,50	1,0010	67,000	73,48	2399,5	73,48	2460,0	2533,5	0,2607	8,7237
4	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746
6	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
8	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2267
10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2458,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320
70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
80	93,50	1,0380	2,067	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
100	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
150	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
200	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
250	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
300	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
350	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
400	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
450	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
500	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
600	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600
700	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080
800	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628
900	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226
1000	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863
1500	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,84	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448
2000	212,4	1,1767	0,09963	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409
2500	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575
3000	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869
3500	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253
4000	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7964	6,0701
4500	257,5	1,2692	0,04406	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199
5000	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734
6000	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892
7000	285,9	1,3513	0,02737	1257,6	2580,5	1267,0	1505,1	2772,1	3,1211	5,8133
8000	295,1	1,3842	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,3	2758,0	3,2068	5,7432
9000	303,4	1,4178	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,9	2742,1	3,2858	5,6772
10000	311,1	1,4524	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3596	5,6141
11000	318,2	1,4886	0,01599	1433,7	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	5,5527
12000	324,8	1,5267	0,01426	1473,0	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	5,4924
13000	330,9	1,5671	0,01278	1511,1	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	5,4323
14000	336,8	1,6107	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	5,3717
15000	342,2	1,6581	0,01034	1585,6	2455,5	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	5,3098
16000	347,4	1,7107	0,00931	1622,7	2431,7	1650,1	930,8	2580,6	3,7461	5,2455
17000	352,4	1,7702	0,00836	1660,2	2405,0	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	5,1777
18000	357,1	1,8397	0,00749	1698,9	2374,3	1732,0	777,1	2509,1	3,8715	5,1044
19000	361,5	1,9243	0,00666	1739,9	2338,1	1776,5	688,0	2464,5	3,9368	5,0228
22090	374,1	3,155	0,00315	2029,6	2029,6	2099,3	0	2099,3	4,4298	4,4298

Figura 1. Tabla de propiedades termodinámicas del vapor saturado.

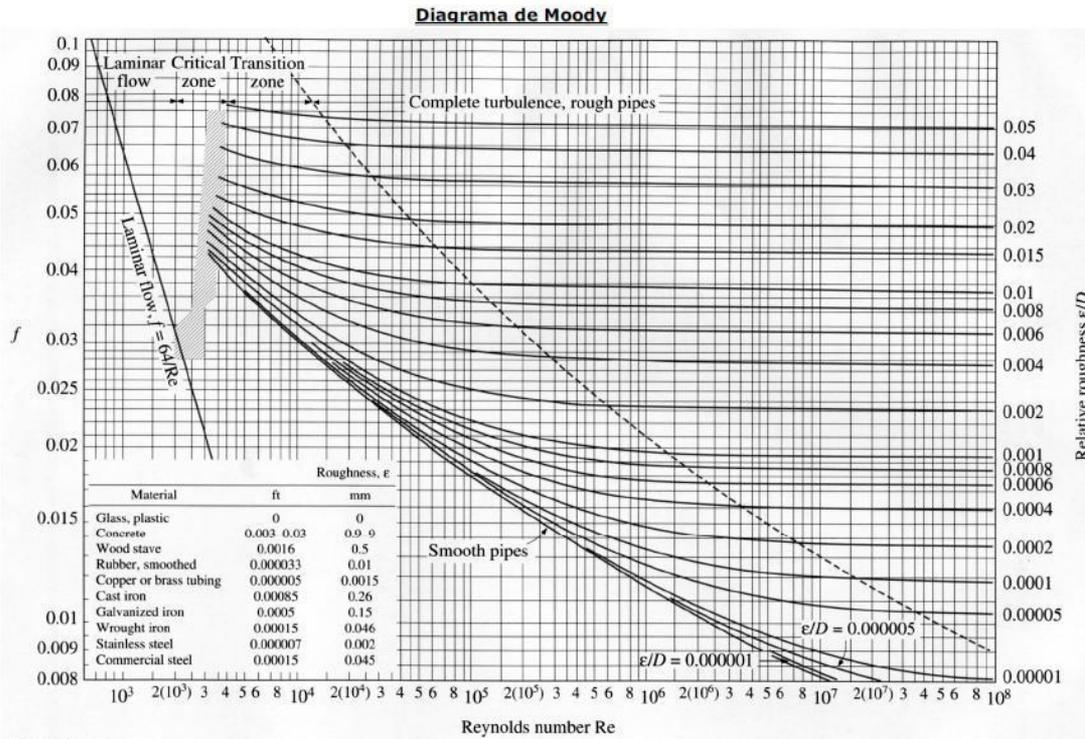


Figura 2. Diagrama de Moody.

Tabla 6. Factores de Hand ($f_{k,s}$)	
Equipo	Factor
Mezclador	2
Soplantes y ventiladores (motor incluido)	2,5
Compresores:	
Centrifugos (motor excluido)	2
Con motor	2,3
Hornos	2
Cambiadores	4,8
Instrumentos	4,1
Bombas:	
Centrifugas (motor excluido)	7
Desplazamiento positivo	5
Reactores	2,5
Tanques:	
Proceso	1,1
Almacenamiento	3,5
Prefabricados	2
Columnas	4

Figura 3. Factores de Hand.

Tabla 2.- Exponentes de Williams para diversos proceso					
Tipo de planta	Exponente (n)	Unidad de capacidad	Tipo de planta	Exponente (n)	Unidad de capacidad
Acetileno	0,75	t/d	Etileno	0,58	t/d
Ácido nítrico	0,56	t/d	Depósitos de almacenamiento	0,63	l
Aluminio	0,76	t/a	Formaldehido	0,58	t/d
Amoniaco	0,74	t/d	Metanol	0,83	t/d
Benceno	0,61	t/a	Óxido de etileno	0,79	t/d
Butadieno	0,59	t/a	Oxígeno	0,72	t/d
Caldera de vapor	0,75	kg vapor/h	Peróxido de hidrógeno	0,75	l/d
Cemento	0,86	t/d	Planta de almacenamiento	0,67	t/d
Cloro	0,62	t/d	Producción energía eléctrica (nuclear)	0,68	MW
Coquización de petróleo	0,50	t/d	Producción energía eléctrica (térmica)	0,79	MW
Edificios industriales	0,67	m ²	Redes de distribución de agua y gas	0,91	Diámetro tuberías
Estireno	0,68	t/d	Redes de distribución de agua y gas	0,82	Longitud instalada
Etanol	0,6	t/d	Sosa	0,35	t/d

Figura 4. Exponentes de Williams.

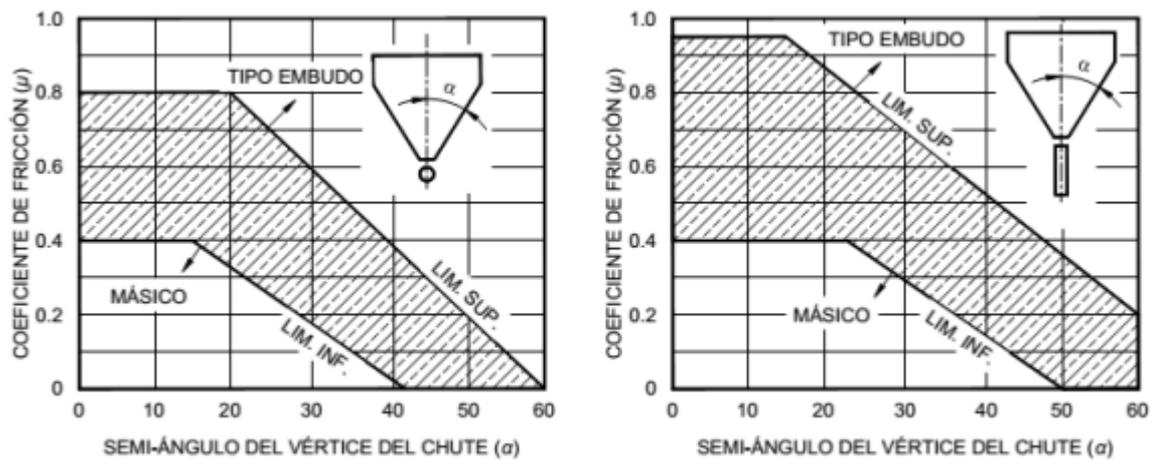


Figura 5. Gráficas para el diseño de tolvas.

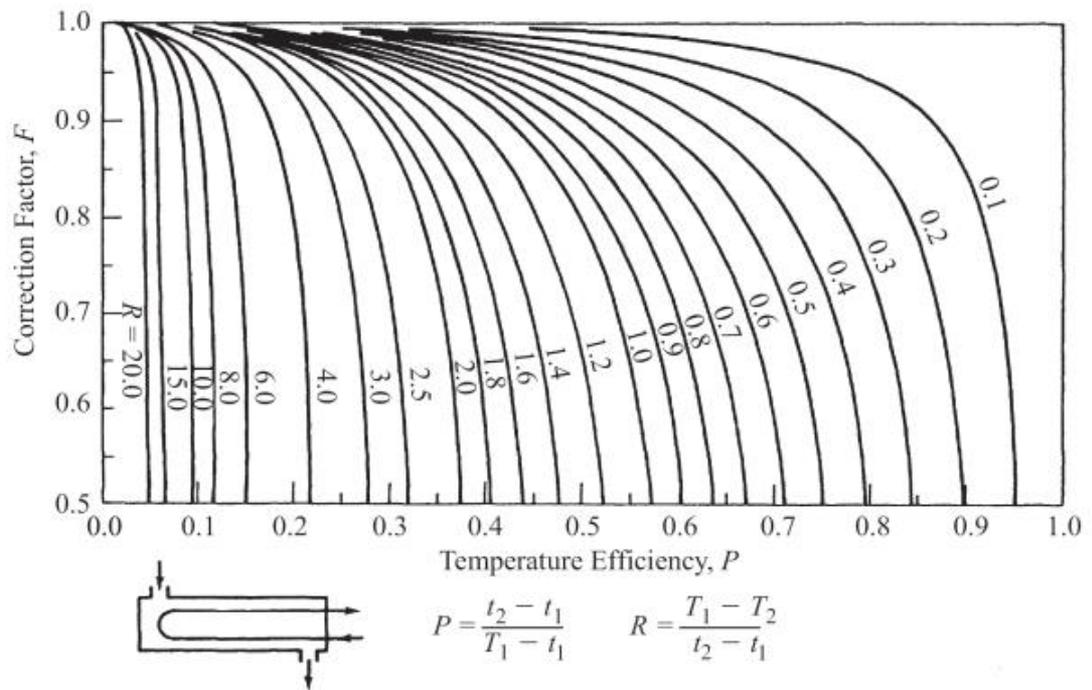


Figura 6. Gráfico del factor correctivo.