

# Proyecto Fin de Carrera

## Ingeniería Química

Proyecto de ingeniería básica de una almazara para la producción de 15.000 t/año de aceite de oliva virgen

Autor: Francisco León Muñoz

Tutor: Benito Navarrete Rubia

**Dep. Ingeniería Química**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2018





Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Química

**Proyecto de ingeniería básica de una almazara para  
la producción de 15.000 t/año de aceite de oliva  
virgen**

Autor:

Francisco León Muñoz

Tutor:

Benito Navarrete Rubia

Dep. de Ingeniería Química Ambiental  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Proyecto Fin de Carrera: Proyecto de ingeniería básica de una almazara para la producción de 15.000 t/año de aceite de oliva virgen

Autor: Francisco León Muñoz

Tutor: Benito Navarrete Rubia

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal







# Agradecimientos

---

A mis amigos, por estar conmigo en los buenos y malos momentos. A mi familia por ser el pilar básico que sustenta mi vida y servirme de apoyo incondicional en los peores momentos. A Dios.

*Francisco León Muñoz*

*Sevilla, 2018*



# Resumen

---

El proceso de obtención de aceite de oliva no ha cambiado mucho desde la antigüedad, mas si las técnicas en su base son las mismas, los equipos han ido mejorando a la par que lo hacía la tecnología.

La obtención pura de aceite de oliva es un proceso físico, en este proyecto se busca la definición y dimensionamiento de los equipos principales del proceso, presentando así una Ingeniería Basica, dodnde se incluyen además una serie de anexos, con reglamentos, análisis económico, análisis ambiental y planos.



# Abstract

---

The olive oil process is very ancient. The techniques are the same but the improvements in technologies allow new systems more efficient.

Olive oil process is physical, in this Project we try to dimensionate the principal equipment, doing a basic engineering.

Agradecimientos	9
Resumen	11
Abstract	13
Índice	14
<b>Índice de Tablas</b>	<b>16</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>18</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>11</b>
1.1 <i>Historia del aceite de oliva</i>	11
1.2 <i>Publicaciones precedentes</i>	14
<b>2 Antecedentes y Justificación</b>	<b>15</b>
2.1 <i>Justificación</i>	15
2.2 <i>Objetivos</i>	16
2.3 <i>Alcance</i>	17
<b>3 Memoria descriptiva</b>	<b>18</b>
3.1 <i>Descripción del proceso</i>	18
3.2 <i>Diagrama de bloques.</i>	22
<b>4 Bases de diseño</b>	<b>24</b>
<b>5 Memoria de calculo</b>	<b>27</b>
5.1 <i>Balance de materia</i>	27
5.2 <i>Balance de energia</i>	28
5.3 <i>Diseño y dimensionamiento de los equipos principales de la almazara</i>	30
5.3.1 <i>Diseño de tolvas de recepción</i>	30
5.3.2 <i>Dimensionamiento de limpiadora y despalilladora</i>	32
5.3.3 <i>Balanza automática.</i>	33
5.3.4 <i>Diseño de cintas transportadoras.</i>	34
5.3.5 <i>Diseño de tolvas de almacenamiento</i>	42
5.3.6 <i>Diseño de los tornillos sin fin</i>	43
5.3.7 <i>Dimensionamiento de la trituradora de martillos</i>	48
5.3.8 <i>Dimensionamiento de las termo-batidoras</i>	49
5.3.9 <i>Dimensionamiento del decanter horizontal</i>	50
5.3.10 <i>Dimensionamiento de la centrifugadora</i>	52
5.3.11 <i>Diseño de los depósitos de decantación de aceite</i>	53
5.3.12 <i>Diseño de los depósitos de aceite de oliva</i>	55
5.3.13 <i>Dimensionado del separador pulpa hueso</i>	56
5.3.14 <i>Tolvas de almacenamiento de pulpa y de hueso</i>	57
5.3.15 <i>Selección de las bombas para trasiego de líneas.</i>	58
5.3.16 <i>Diseño de la caldera</i>	61
5.4 <i>Diseño de un Sistema de control</i>	63
5.4.1 <i>Pesaje</i>	63
5.4.2 <i>Control de llenado de las tolvas de almacenamiento.</i>	64
5.4.3 <i>Control de los tornillos sin fin</i>	65
5.4.4 <i>Control de caudal de pasta y de agua de las termo-batidoras</i>	66
5.4.5 <i>Control del caudal de recirculación en las centrifugadoras verticales</i>	69
5.4.6 <i>Control de la bodega</i>	70
<b>6 Dimensionado de auxiliares</b>	<b>73</b>
6.1 <i>Reglamento de equipos a presión</i>	73

6.1.1	<i>Definición.</i>	73
6.1.2	<i>Clasificación de la caldera</i>	73
6.1.3	<i>Instalación</i>	73
6.1.4	<i>Prescripciones de seguridad de la instalación.</i>	74
6.1.5	<i>Sistemas de vigilancia de las calderas.</i>	74
6.1.6	<i>Inspecciones periódicas</i>	75
6.1.7	<i>Reparaciones</i>	76
6.2	<i>Reglamento PCI: Protección contra incendios</i>	77
6.2.1	<i>Desarrollo de la guía técnica.</i>	77
6.2.2	<i>Riesgos inherentes a los establecimientos industriales</i>	77
6.2.3	<i>Resistencia al fuego (EI)</i>	79
6.2.4	<i>Condiciones de evacuación para Configuraciones tipos “D”</i>	80
6.2.5	<i>Colocación de extintores</i>	80
6.2.6	<i>Colocación de hidrantes</i>	80
6.3	<i>Análisis eléctrico de la planta</i>	81
<b>7</b>	<b>Análisis medioambiental</b>	<b>83</b>
7.1.1	<i>Introducción</i>	83
7.1.2	<i>Cálculo de la huella de carbono</i>	84
<b>8</b>	<b>Presupuesto y analisis economico</b>	<b>87</b>
8.1.1	<i>Presupuestos</i>	87
8.1.2	<i>Tolvas</i>	88
8.1.3	<i>Depósitos</i>	88
8.1.4	<i>Caldera</i>	88
8.1.5	<i>Bombas</i>	89
8.1.6	<i>Resto de equipos</i>	89
8.1.7	<i>Coste total</i>	90
8.1.8	<i>Análisis de la inversión</i>	91
<b>9</b>	<b>Planos</b>	<b>93</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>98</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de la almazara	16
Tabla 2: Balance de materia del proceso	24
Tabla 3: Descripción de los equipos existentes en el diagrama de procesos.	26
Tabla 4: Balance de materia para cada línea y características de las tuberías	27
Tabla 5: balance de energía	28
Tabla 6: Características de la tolva de recepción	31
Tabla 7: Características de la cinta transportadora	41
Tabla 8: Características de la cinta transportadora	41
Tabla 9: Características de la cinta transportadora	41
Tabla 10: Características de la cinta transportadora	41
Tabla 11: Características de la cinta transportadora	41
Tabla 12: Características de la cinta transportadora	42
Tabla 13: Características de las tolvas de almacenamiento	42
Tabla 14: Características de los tornillos sin fin	47
Tabla 15: Características de los tornillos sin fin	47
Tabla 16: Características de los bidones de decantación	55
Tabla 17: Características de las tolvas de alperujo	57
Tabla 18: Características de las tolvas de hueso de aceituna	57
Tabla 19: Consumos de recepción y limpieza	81
Tabla 20: consumos de molienda	81
Tabla 21: Consumos de extracción	81
Tabla 22: Consumos de subproductos	82
Tabla 23: Consumos debidos al trasiego de fluidos	82
Tabla 24: Resumen del coste	88
Tabla 25: Resumen del coste	88
Tabla 26: Resumen del coste	88
Tabla 27: Resumen del coste	89
Tabla 28: Factores de Lang	90
Tabla 29: Flujos de caja	91





Figura 1: molino tradicional de aceituna	11
Figura 2: Árbol de olivo	12
Figura 3: plano topográfico de implantación de la planta.	15
Figura 4: Maquina de limpieza y despalillado	18
Figura 5: Grupo de termo-batidoras	19
Figura 6: Decaners horizontales	20
Figura 7: Separadores verticales centrífugos y cubos para la recepción de agua	20
Figura 8: separadores de hueso y pulpa	21
Figura 9: bidones de decantación	21
Figura 10: Diagrama de bloques de la actividad principal.	22
Figura 11: Diagrama de bloques de la actividad secundaria.	23
Figura 12: Diagrama de procesos	25
Figura 13: Esquema de la tolva	30
Figura 14: Esquema de la limpiadora y despalilladora	32
Figura 15: Basculas	34
Figura 16: tabla para coeficiente K de bandas inclinadas	36
Figura 17: Tabla de cintas para obtener el ancho de banda	36
Figura 18: Tabla para el calculo de la potencia	38
Figura 19: Tabla para el calculo de la potencia	38
Figura 20: Tabla para el calculo de la potencia	39
Figura 21: Tabla para el calculo de la potencia	39
Figura 22: Tabla para el calculo de la potencia	40
Figura 23: Tabla para el calculo de la potencia	40
Figura 24: Helice de un tornillo sin fin	43
Figura 25: Tabla para el calculo de $\lambda$	43
Figura 26: Tabla para el calculo de $i$	44
Figura 27: Tabla para la obtención de $c_0$	45
Figura 28: Disposición de los tornillos sin fin	46
Figura 29: Trituradora de martillos	48
Figura 30: Termo-batidoras	49
Figura 31: Tabla para la selección del decanter	51
Figura 32: Decanter horizontal	51
Figura 33: Centrifugadora vertical	52
Figura 34: Bidones de decantación de aceite	54
Figura 35: Características de los depositos	55

Figura 36: Separador pulpa-hueso	56
Figura 37: Curvas características de las bombas	58
Figura 38: Curvas características de las bombas	59
Figura 39: Curvas características de las bombas	60
Figura 40: Distribuidor aero-giratorio	63
Figura 41: Indicadores de llenado	64
Figura 42: Esquema de control del llenado de las tolvas de almacenamiento	65
Figura 43: Caudalímetro electromagnético	66
Figura 44: Sensor de temperatura	67
Figura 45: Diagrama de control del agua caliente	67
Figura 46: Valcúla de tres vías	69
Figura 47: Transmisor de nivel	70
Figura 48: Esquema de control de la bodega	72
Figura 49: Tipología de los establecimientos industriales	78
Figura 50: Tipo de riesgo intrínseco en función de la tipología del establecimiento industrial	79
Figura 51: resistencia al fuego exigida en función de la tipología de la industria	79
Figura 52: Criterio de colocación de hidrantes	80
Figura 53: desglose de las emisiones debidas únicamente al cultivo del olivo. Diagrama de barras	85
Figura 54: desglose de las emisiones debidas únicamente al cultivo del olivo. Diagrama de sectores	85
Figura 55: Desglose de las emisiones que conforman la huella de carbono. Diagrama de barras	86
Figura 56: Desglose de las emisiones que conforman la huella de carbono. Diagrama de sectores	86
Figura 57: plano principal	93
Figura 58: Plano de recepción de aceituna	94
Figura 59: Plano de almacenamiento de aceituna	94
Figura 60: plano de batido	95
Figura 61: plano de separación pulpa-hueso	96
Figura 62: plano de almacenamiento de aceite	97







# 1 Introducción

---

## 1.1 Historia del aceite de oliva

El aceite de oliva se define como el zumo oleoso obtenido del fruto del olivo, exclusivamente por procedimientos mecánicos u otros procedimientos físicos aplicados en condiciones, especialmente térmicas, que no produzcan la alteración del producto, y que no hayan tenido otro tratamiento que el lavado, la decantación, el centrifugado, o el filtrado.

La palabra aceite deriva del árabe, “az-zait” cuya traducción es jugo de aceituna. Cabe recalcar la gran antigüedad que posee este líquido, el famoso autor de la *Iliada* y la *Odisea*, se refería al mismo como “oro líquido”. En el siglo XXI es de sobra conocido la cantidad de beneficios que aporta, además de ser uno de los componentes principales de la dieta mediterránea, pero su llegada a la península ibérica es todavía un misterio sin confirmar, aunque hay un gran número de teorías.

Los métodos de producción de aceite de oliva no han cambiado mucho, la mejora principal se ha producido en el ámbito de la maquinaria utilizada, pues en la actualidad la tecnología se ha actualizado bastante. Antiguamente y debido a los métodos rudimentarios que se utilizaban no se aprovechaba del todo la aceituna, en nuestros días se aprovecha todo, incluida la biomasa existente en forma de “hueso”.

El sistema tradicional consta de tres fases: molienda, prensado y decantación.

La molienda consta de la preparación de una pasta, para ello se utilizaban unos molinos tanto manuales como de tracción animal donde se rompe la aceituna.

La separación de la parte sólida de la pasta obtenida tras la molienda se realiza por medio del prensado, el cual varía en función de las cualidades tecnológicas de la época.

Por último, se realiza un proceso de decantación donde se separa el aceite de oliva del agua de vegetación.

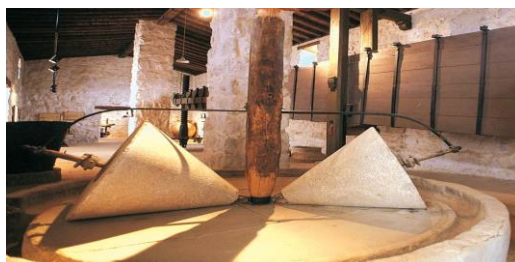


Figura 1: molino tradicional de aceituna

Se ha explicado muy brevemente el método tradicional de producción de aceite de oliva, pero es necesario comentar que el proceso completo incluye una recolección de aceitunas, conocido como el vareo de olivos, un lavado de estas, así como un filtrado, el posterior envasado y por último el almacenaje.

Es necesario comentar unas breves pinceladas del árbol cuyo fruto es la aceituna, el olivo.

El olivo es un árbol de la familia de las oleáceas, que puede llegar a medir unos 15 metros de altura y vivir varios siglos gracias a la facilidad que tiene para echar raíces. El tronco posee un gran número de protuberancias y fisuras, las cuales van en aumento conforme este va envejeciendo. Es de copa ancha y hoja perenne. Las hojas son de unos 8 cm aproximadamente, cubiertas de una densa pubescencia la cual se encarga de proteger en verano del calor y en invierno del frío.

Es necesario retrotraerse hasta varios siglos antes del nacimiento de Cristo, para encontrar un origen del cultivo del olivo, árbol cuyo fruto es la aceituna. Además, la llegada de este árbol a España fue gracias a los fenicios los cuales los transportaban a través de ánforas por todo el mediterráneo.

Se tiene la creencia de que el primer cultivo de olivo se realizó en una región entre Creta, Palestina y Egipto, aunque donde realmente comienza a cobrar verdadera importancia es en la antigua Grecia.



Figura 2: Árbol de olivo



El olivo tiene grandes atribuciones llegando incluso a formar parte de la mitología Griega, en especial con la diosa Atenea, diosa de la sabiduría, la cual según cuenta la leyenda creó el olivo en una lucha con Poseidón por el dominio de la ciudad de Attica. Al parecer el que ofreciera el mayor regalo a sus habitantes sería digno poseedor de la acrópolis, Poseidón quebró una piedra de la cual emergió un caballo y Atenea hundió su lanza en la piedra de donde surgió un olivo. Los habitantes declararon a Atenea vencedora.

Este árbol no solo arraigó muy fuerte en Grecia, en Roma tuvo una gran importancia, se conoce que los romanos exportaron de Hispania unos 30 millones de vasijas, siendo el de las cordilleras béticas, actual Andalucía, el de mayor calidad. También tenía tintes sagrados pues en la Biblia aparecen más de cuatrocientas menciones al olivo.

En las primeras olimpiadas de la historia, 776 AC, el olivo volvió a jugar un papel fundamental pues la primera antorcha, era una rama de este en llamas. Además, los ganadores obtenían una corona formada por ramas de olivo. Las cuales simbolizaban la paz y el cese de todo tipo de hostilidades durante la celebración de estos famosos juegos.

## 1.2 Publicaciones precedentes

Han sido muchas las publicaciones referidas al tema de la producción de aceite de oliva como los que se muestran a continuación.

“El cultivo del olivo Editores”. Autores, D. Barranco, R. Fdez.-Escobar, L. Rallo Año 2017, 7ª edición.

Esta obra es la más importante que se ha editado sobre el olivo en español. El Cultivo del Olivo se ha convertido en clásico de la literatura agrícola. Se ha concebido como un texto de elevado nivel técnico dirigido a personas del sector: agricultores, industriales, técnicos, estudiantes y, en general, a todos aquellos interesados en el cultivo de esta planta milenaria. Por ello se diseñó como una obra colectiva. Se trataba de elaborar un libro permanentemente actualizado, que contara con la participación de expertos con los conocimientos científicos y técnicos precisos en cada uno de sus capítulos que permitieran al lector plantar y cultivar con éxito un olivar y obtener unos productos de calidad a la luz de los conocimientos actuales.

“El aceite de oliva. Tecnología, análisis sensorial y Denominaciones de Origen”. Autor: Antonio Madrid Vicente (Ingeniero Agrónomo). Año 2016, 1ª Edición.

En este libro se estudia el aceite de oliva empezando por el cultivo del olivo y las características de las aceitunas, continuando con el proceso de extracción del aceite de las aceitunas. Los métodos de extracción han ido variando con el tiempo, y la calidad del aceite obtenido se ha mejorado considerablemente.

# 2 Antecedentes y Justificación

## 2.1 Justificación

El proyecto estará ubicado en Portugal, en una zona agraria, cerca de 800 hectáreas de olivar, que proporcionan parte de la materia prima a la almazara, a partir de la cual se fabricará un total de 15.000 t de aceite de oliva virgen. Alrededor de la almazara no hay ningún otro emplazamiento industrial, lo que disminuye las exigencias de muchos reglamentos como por ejemplo el PCI.

El proyecto se presenta para un grupo de tres empresarios que tienen el objetivo de introducir su ya conocida marca de aceite en el mercado español y portugués. El emplazamiento se realiza en Portugal debido a las concesiones y condiciones del gobierno en este país, las cuales a ojos de los empresarios son mejores y más beneficiosas que en España, manteniéndose además en la península ibérica, lo que facilitaría su posterior distribución a lo largo de su zona de influencia.

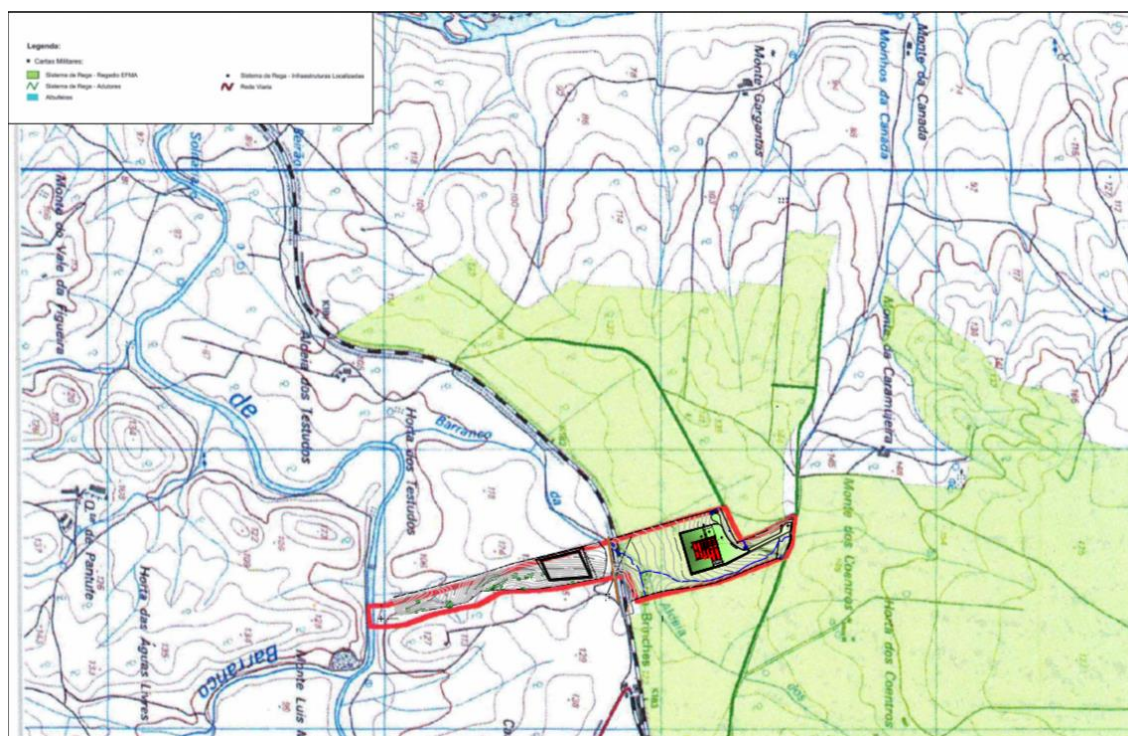


Figura 3: plano topográfico de implantación de la planta.

La almazara posee un centro de transformación conectado a los nodos de corriente, los cuales son transportados en alta tensión y en el centro de transformación se obtiene la corriente en baja que es la que se encarga de alimentar los equipos de la almazara.

La planta se pretende instalar sobre una parcela con actividad actual agrícola con la planta de producción, una sala de control y vigilancia y una balsa de evaporación de situada al norte.

La altitud media es de 125 m s n m, con topografía ondulada y pendientes por encima del 5%, inclinándose hacia abajo desde dirección noroeste/ suroeste.

Una de las razones de mas peso por la cual se ha llevado a cabo en esta situación geográfica, de la cual a continuación se mostrarán las coordenadas, es por la cercanía con una plantación de mas de 100 hectáreas de olivo, los cuales sustentan en temporada de aceituna a la planta.

Las coordenadas UTM de los vértices de la parcela son:

<b>Punto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>A</b>	45081,83	-184788,09
<b>B</b>	45171,49	-184762,69
<b>C</b>	45181,53	-184197,00
<b>D</b>	45164,54	-184852,28

Tabla 1: Coordenadas de la almazara

## 2.2 Objetivos

El objetivo del proyecto es la realización de un proyecto de Ingeniería Básica para el dimensionamiento de una almazara de aceite para una producción anual de 15.000 t/año de aceite de oliva dada una alimentación 54.000 t/año de aceituna, de forma que la planta produzca una cantidad de aceite de oliva siguiendo el proceso más actualizado posible. Se obtienen además subproductos como el alperujo (7.000 t/año) y el hueso de aceituna (32.000 t/año).

Se define y describe el proceso, así como se realiza la selección y dimensionamiento de los equipos a instalar en la planta. Además, se dan las bases para la implantación de un sistema de control básico para automatizar el proceso y se hace un análisis medioambiental de la planta.

Finalmente se acompañan planos de la instalación y un análisis económico para determinar la viabilidad de la inversión.

## 2.3 Alcance

El documento consta de los siguientes componentes principales:

- Un diagrama de bloques del proceso.
- Una descripción del proceso.
- Balances de materia, especificando todas las líneas, incluyendo temperatura de servicio y presión.
- Selección y dimensionado de los equipos en función del caudal.
- Diseño cualitativo de un sistema de control con el objetivo de automatizar las respuestas básicas a perturbaciones en la planta, así como al operar la planta.
- Análisis económico de la planta.
- Anexo de medio ambiente
- Anexo de consumo eléctrico en la planta.

## 3 Memoria descriptiva

### 3.1 Descripción del proceso

Antes de comenzar con la descripción es necesario recalcar que la obtención de aceite de oliva en una almazara es un proceso únicamente físico, no posee ningún tipo de aditivo químico, ni se produce ninguna reacción.

En primer lugar, se produce la recepción de la aceituna por medio de tolvas de acero inoxidable, en ellas el camión descarga toda la mercancía, que cae después en cintas agroalimentarias para no contaminar la materia prima.



Figura 4: Máquina de limpieza y despalillado

De las cintas pasan a las máquinas de limpieza y despalillado (figura 5) donde se produce un primer lavado y se separa la hoja.

El siguiente paso es el pesaje de la aceituna por medio de balanzas automáticas que trabajan en continuo. El funcionamiento es muy sencillo, las aceitunas caen de las cintas y las balanzas se abren cuando se alcanza un número de toneladas determinadas.

Cuando se han pesado se trasladan a unas tolvas de regulación donde se almacenan durante unas 36 horas como máximo. El tiempo de estancia habitual suele ser entre seis y ocho horas. La aceituna cae de las cintas a un distribuidor aéreo giratorio de acero inoxidable que rota en sentido inverso a las agujas del reloj.

En las tolvas se acumulan aceitunas del mismo tipo, ya que pueden variar los tiempos de residencia en batidoras y decanters en función de la naturaleza de la aceituna.

El transporte de las aceitunas hasta las tolvas de regulación se produce a través de una serie de cintas.

El siguiente paso es la trituración de las aceitunas formando una pasta, en este punto comienza la transformación de la aceituna. Para ello se emplean trituradoras de martillos, la aceituna se transporta a través de unos tornillos sin fin existentes debajo de la tolva.. Los tornillos están colocados para que puedan conectar cualquier tolva con las trituradoras, de esta forma utilizan la aceituna con la característica determinada en el momento que se necesite y un operador solo tiene que pedirla a través de un panel que acciona la apertura de la tolva y el movimiento del tornillo.

La pasta obtenida es impulsada a través de tuberías por medio de bombas. La mezcla llega a un grupo de termo-batidoras (figura 6) donde se bate toda la mezcla, el tiempo de residencia puede variar en función del tipo de aceituna que haya formado la pasta.



Figura 5: Grupo de termo-batidoras

La pasta llega tras el batido al decanter (figura 7), máquina horizontal de decantación donde se separa el alperujo del aceite. El alperujo mantiene restos de micropartículas y agua vegetal, la cual pertenece por su naturaleza a la propia aceituna, es una mezcla de alpechín y de hueso de aceituna triturado se transporta a una zona donde se busca la separación de sus dos componentes principales. El aceite sucio continúa su recorrido hasta llegar a las centrifugadoras verticales (figura 8).





Figura 6: Decaners horizontales

La mezcla aceite-agua llega a los separadores centrífugos verticales (figura 8). En ellos se produce una segunda extracción y se separa gran parte del agua. El aceite ya limpio pasa a las bodegas.



Figura 7: Separadores verticales centrífugos y cubos para la recepción de agua

El alperujo proveniente del decanter llega a la zona de tratamiento de productos secundarios. Allí esperan unas máquinas separadoras de pulpa-hueso (figura 9), fabricadas en acero inoxidable, que se encargan de separar el hueso del alperujo para verterlo sobre unas tolvas.

El alperujo se almacena en tolvas de acero inoxidable y se traslada en camiones hacia fabricas que lo compran para producir aceite de una menor calidad.



El hueso se almacena en dos tolvas de acero al carbono, las cuales están conectadas por un conducto hasta la caldera, donde se quema el hueso utilizado como combustible para así poder calentar agua y cumplir con las exigencias energéticas de la planta.



Figura 8: separadores de hueso y pulpa

El aceite, proveniente de los separadores centrífugos, pasa a unos grandes bidones de decantación (figura 10), en estos se separa por gravedad la pequeña cantidad de agua restante. La decantación se realiza por diferencia de densidades.



Figura 9: bidones de decantación

Una vez decantado el aceite, este es enviado a los depósitos de almacenamiento, en estos se mantiene el aceite el tiempo necesario hasta que se produce su expedición y posterior venta.

### 3.2 Diagrama de bloques.

A continuación, se representa el diagrama de bloques del proceso que tiene lugar en la almazara de aceite. Se van a representar dos diagramas en vez de uno para no complicar la comprensión, debido a la producción de subproductos.

En primer lugar, se presenta la actividad principal, obtención de aceite de oliva.



Figura 10: Diagrama de bloques de la actividad principal.

En segundo lugar, se representa el proceso necesario para la obtención del subproducto del aceite, el alperujo. Esta operación se representará con un mayor grado de detalle en el apartado siguiente.

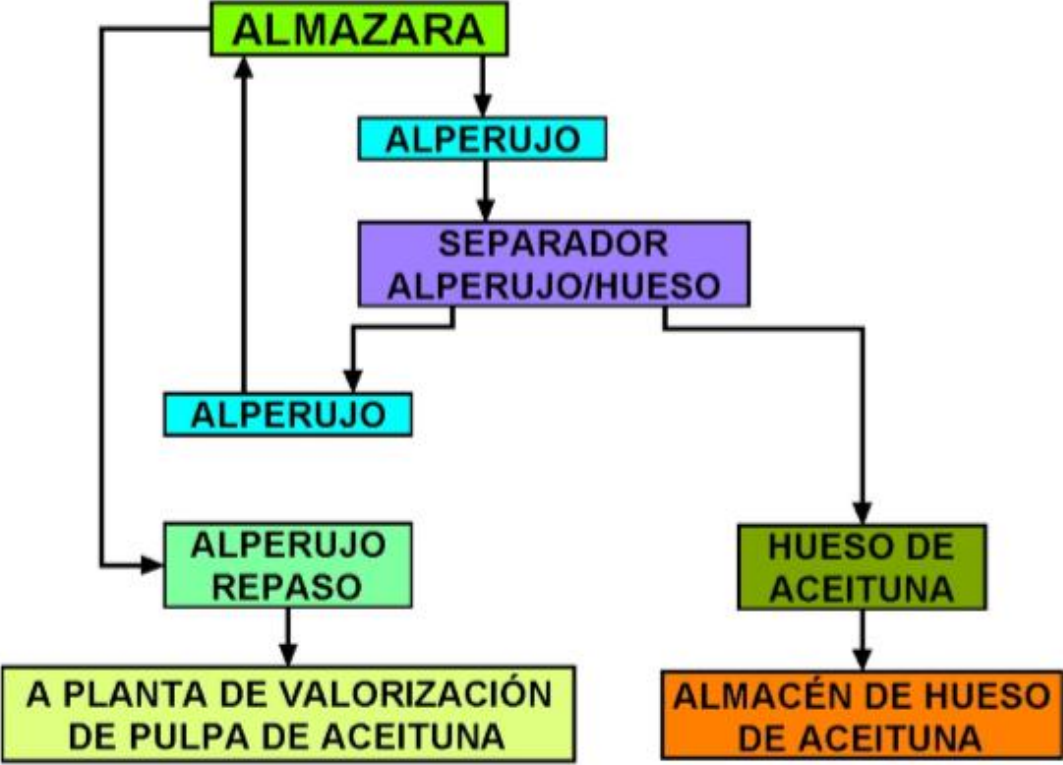


Figura 11: Diagrama de bloques de la actividad secundaria.

## 4 Bases de diseño

Se produce aceite durante una campaña en un total de cuarenta y cinco días, donde la planta opera en continuo, es decir, no se para la maquinaria en ningún momento, trabajando las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana, repartidos en turnos de ocho horas cada día, lo que hace un total de tres turnos al día.

La producción para la cual se ha diseñado el proceso es de 54.000 t de aceituna por campaña, teniendo únicamente una sola campaña al año y se obtiene un total de 15.000 t de aceite al año.

A continuación, se representa el balance de materia de la planta.

Situación	Productos	m <sup>3</sup> /h	t/año	porcentaje (%)
Entrada	aceituna	42	54.000	100
salida	aceite	11,8	15.000	28,1
	alperujo	5,5	7.000	13,2
	hueso	24,7	32.000	58,8

Tabla 2: Balance de materia del proceso

Para obtener los m<sup>3</sup>/h basta multiplicar por los 45 días de campaña, por las 24 horas de trabajo diario y por el peso específico de la aceituna que aproximadamente es de 1,2 t/m<sup>3</sup>.

Uno de los puntos mas importantes y en los que se ha basado el dimensionado de los equipos es el tiempo de residencia de la aceituna en las tolvas de recepción. El cual es un máximo de entre 35-40 horas. A partir de este dato se puede obtener el caudal de aceituna del proceso.

Otra de las bases de diseño es el tiempo de residencia en las termo-batidoras, así como la cantidad de agua que se debe añadir a la misma. El tiempo de residencia para un batido óptimo es de 90 minutos. Este dato puede variar en función del tipo de aceituna que llegue a la planta, pero en rasgos generales y para el dimensionado del mismo es correcto.

La cantidad de agua a añadir en las termo-batidoras es de un 10 % sobre la mezcla, con una temperatura de 35 °C.

Por último, la presión en las líneas por donde va el aceite es de 1 bar, y todos los elementos en contacto con la aceituna, con la pasta de aceituna o con el aceite de oliva, deben estar fabricados en acero inoxidable, por ley.

A continuación, se representa un diagrama de procesos.

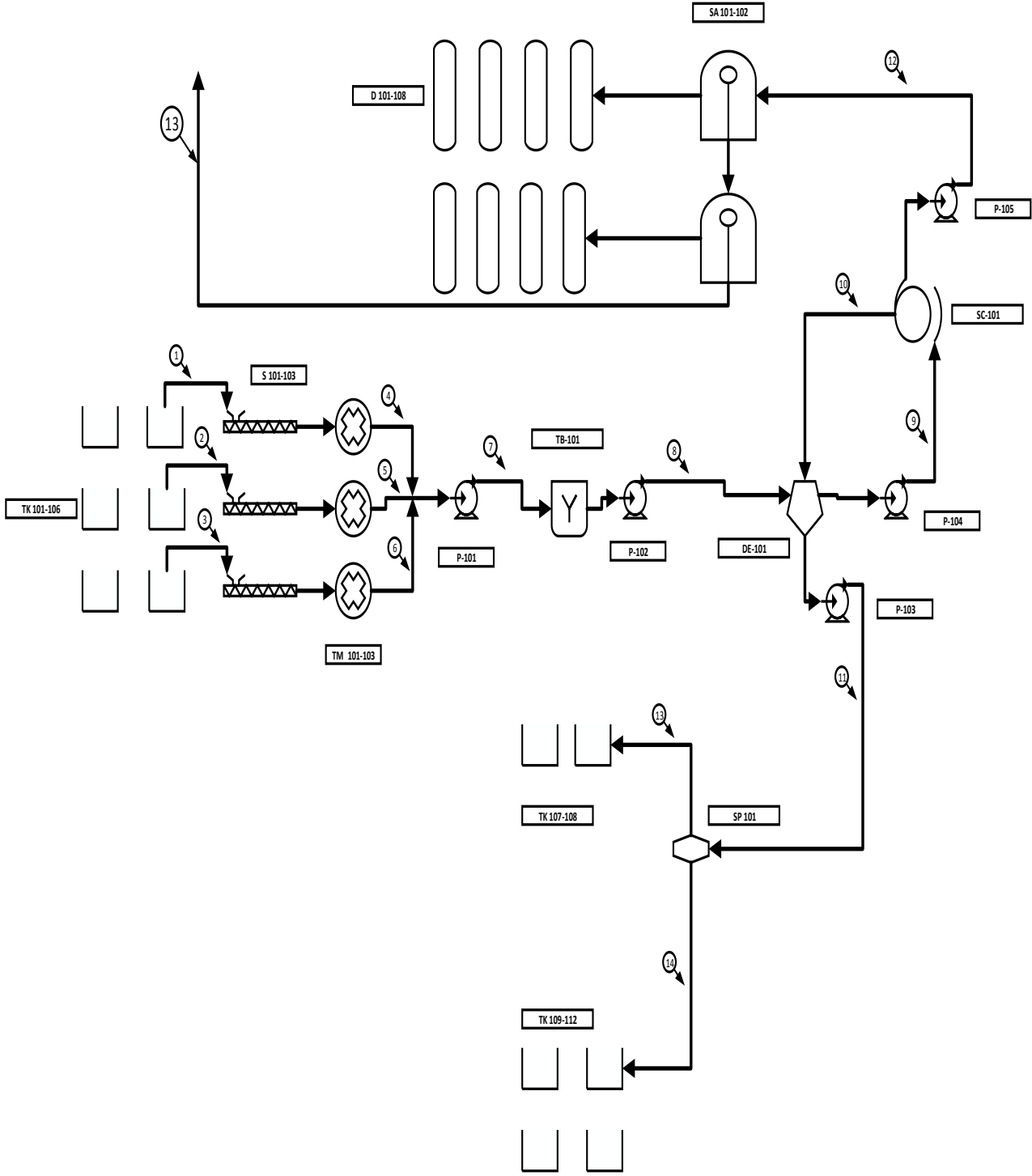


Figura 12: Diagrama de procesos

A continuación, se muestra una descripción de todos los equipos existentes incluyendo el código de referencia de cada uno de estos.

Codigo	Equipo	Cantidad
TK 101-106	Tolvas de almacenamiento de aceituna	6
S 101-103	Tornillos sin fin	3
MM 101-103	Molino de martillo	3
P 101-103	Bomba de piston	3
TB 101	Grupo de termo-batidoras	1
DE 101-102	Decanter verticales	2
P 104-105	Bombas centrifugas	2
SC 101-103	Separadores centrifugos	2
SA 101-102	Separadores de aceite	2
D 101-108	Depostiso de aceite	8
SP 101	Separador pulpa-hueso	1
TK 107-108	Tolvas de hueso de aceituna	2
TK 109-112	Tolvas de alperujo	4

Tabla 3: Descripción de los equipos existentes en el diagrama de procesos.

# 5 Memoria de calculo

## 5.1 Balance de materia

A continuación, se presenta un balance de materia de cada línea. En la tabla 4 se recoge la descripción de todas las líneas de proceso, así como su temperatura, presión y si fuera necesario el aislamiento correspondiente. Representa también el caudal y se puede considerar un balance de materia más exacto.

Material	Fluido	Nº línea	Q (m3/h)	P (bar)		T (°C)		aislamiento	
				trabajo	diseño	trabajo	diseño	tipo	espesor
R	Aceituna	1	14	1	3	15	25	-	-
R	Aceituna	2	14	1	3	15	25	-	-
R	Aceituna	3	14	1	3	15	25	-	-
R	Pasta	4	14	1	3	15	25	-	-
R	Pasta	5	14	1	3	15	25	-	-
R	Pasta	6	14	1	3	15	25	-	-
R	Pasta	7	42	1	3	15	25	-	-
R	Pasta	8	42	1	3	35	45	-	-
R	Aceite sucio	9	11,8	1	3	35	45	-	-
R	agua vegetal	10	0,1	1	3	25	35	-	-
R	Alperujo y hueso	11	30,2	1	3	25	35	-	-
R	Aceite de oliva	12	11,7	1	3	25	35	-	-
R	Hueso	13	5,5	1	3	25	35	-	-
R	Alperujo	14	24,7	1	3	25	35	-	-

Tabla 4: Balance de materia para cada línea y características de las tuberías

## 5.2 Balance de energía

El balance de energía se basa en el calentamiento de agua en la caldera. Esta tiene dos exigencias principales.

- Calentamiento de agua introducida en las termo-batidoras, incrementando la temperatura desde los 25 °C, hasta los 35 °C.
- Calentamiento de agua para el ACS (agua caliente sanitaria), incrementando la temperatura desde los 25 °C, hasta los 60 °C.

El combustible utilizado para la caldera será el hueso de aceituna, que es un subproducto de la almazara y los caudales de agua necesarios son los siguientes.

- 20 m<sup>3</sup>/h para las termo-batidoras
- 15 m<sup>3</sup>/h para el agua caliente sanitaria

USO DEL AGUA	Caudal de agua necesario (kg/h)	capacidad calorífica (kcal/(kg*°K))	Incremento de temp. (K)	Consumo energético (kcal/h)	Consumo energético (kJ/h)	Consumo energético (kW)
Calentamiento de las termo-batidoras	20.000	1	10	200.000	837.360	232,79
ACS	15.000	1	35	525.000	2.198.070	611,06

Tabla 5: balance de energía

Se puede calcular también las TEP, toneladas equivalentes de petróleo, para ello se usa la siguiente conversión:

$$4,186 \times 10^7 \text{ kJ} = 1 \text{ TEP}$$

Para ello es necesario especificar en primer lugar las horas/campaña. Las cuales se muestran en la siguiente ecuación y siguiendo los horarios especificados por la almazara, que son tres turnos al día de 8 horas por turno, lo que hace un total de 24 horas/día.

$$45 \frac{\text{días}}{\text{campaña}} * 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 1080 \frac{\text{h}}{\text{campaña}}$$



A continuación, se multiplica el valor obtenido por el número de kJ/h totales:

$$3.035.430 \frac{kJ}{h} * 1080 \frac{h}{campaña} = 3.278.264.400 \frac{kJ}{campaña}$$

Por último, se multiplican los kJ/campaña por el factor de conversión, para obtener las toneladas de petróleo equivalente.

$$3.278.264.400 \frac{kJ}{campaña} * \frac{1 TEP}{41860000 kJ} = 78,32 \frac{TEP}{campaña}$$

El resultado obtenido es un total de 78,32 toneladas de petróleo equivalente, por campaña.

### 5.3 Diseño y dimensionamiento de los equipos principales de la almazara

En este apartado se van a diseñar y dimensionar los diferentes equipos que forman parte del proceso de producción de aceite. Para hacer el apartado mas comprensible se va a organizar el detallado de los equipos empezando por los que entran en contacto antes con la aceituna.

Es necesario recalcar ciertos datos a partir de los cuales se ha diseñado la planta. Se ha diseñado una sola línea, pues las otras dos, son tres en total, son exactamente iguales.

El valor nominal de operación es de  $14 \text{ m}^3/\text{h}$ . Para llegar a este dato se ha realizado la siguiente coinversión. Se almacenan  $54.000 \text{ t}$  de aceituna al año, trabajando únicamente  $45 \text{ días}$  al año. Dividiendo por las  $24 \text{ horas}$  que tiene un día, sabiendo que se hacen tres turnos de  $8 \text{ horas}$  diarias. Para pasar de  $\text{t}$  a  $\text{m}^3$  se ha dividido por  $1,2 \text{ t/m}^3$ , que es el peso específico de la aceituna. Por ultimo se divide por las  $3 \text{ líneas}$  existentes y queda de la siguiente forma.

$$54000 \frac{\text{t}}{\text{año}} \times \frac{\text{m}^3}{1,2 \text{ t}} \times \frac{1 \text{ año}}{45 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times \frac{1}{3 \text{ líneas}} = 13,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se ha redondeado a  $14 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 5.3.1 Diseño de tolvas de recepción

Antes de diseñar la tolva de recepción se muestra un esquema con las medidas a definir.

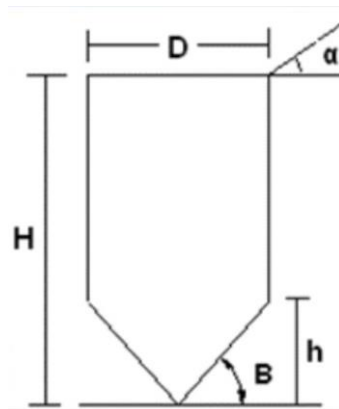


Figura 13: Esquema de la tolva

Siendo  $D$ , el diámetro de entrada de aceituna, en nuestro caso al ser cuadrada será la medida del lado de la tolva.

$\alpha$  es el ángulo con el que se introduce la aceituna del camión, se ha considerado un  $\alpha$  de  $30^\circ$ .

$\beta$  es el ángulo de reposo de la tolva, este ángulo depende de la granulometría del material, de la humedad del mismo, para calcularlo se deja caer una cantidad representativa del material que se este empleando desde una

altura determinada, el ángulo que forme el talud se considera como ángulo de reposo, en este caso es de 45°.

H es la altura total de la tolva, mientras que la h es la altura de la zona inclinada de la tolva.

El material empleado es acero inoxidable, esto se debe a que se esta operando con productos alimenticios y por seguridad para no contaminar la muestra es de obligado cumplimiento el uso de este material.

Las ecuaciones empleadas para calcular el volumen de tolvas son las siguientes:

$$T = V \times \rho_c \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\rho_c = \rho_m \times (1 - Fev) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- T es la capacidad en t de la tolva
- V es el volumen de la tolva en m<sup>3</sup>
- $\rho_c$  es la densidad corregida del material empleado en t/m<sup>3</sup>
- $\rho_m$  es el peso específico del material, en este caso para la aceituna 1,2 t/m<sup>3</sup>
- Fev es el factor de espacios vacíos, que en el caso de los gruesos se supone un 40%. Por tanto, Fev es 0,4.

Las ecuaciones empleadas para definir la geometría de la tolva son las siguientes.

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times H}{4} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$tg(\beta) = \frac{2 \times h}{D} \quad \text{Ecuación 4}$$

Todas las variables existentes en las ecuaciones han sido definidas con anterioridad. Para diseñar la tolva de recepción se comienza calculando con la ecuación 1 el volumen total de la tolva. Conocida su capacidad, la cual hemos estimado necesaria de 10 t, conocida también la densidad corregida, se calcula con la ecuación 2. El resultado obtenido para el volumen de la tolva de recepción es de 15.15 m<sup>3</sup>. Por ultimo se ha definido la altura de la tolva de recepción H=3,5 m, de esta forma con la ecuación 3 se obtiene el diámetro o lado de la tolva despejando, así pues, D = 2.35m.  $\beta$  mide 45°, despejando de la ecuación 4 h el valor obtenido es h = 1,17 m. De esta forma se diseña la tolva cuyos resultados se presentan de forma mas ordenada en una tabla.

Capacidad (t)	Volumen (m <sup>3</sup> )	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	D (m)	H (m)	h (m)
10	15,15	45	30	2,35	3,5	1,17

Tabla 6: Características de la tolva de recepción

### 5.3.2 Dimensionamiento de limpiadora y despalladora

La limpiadora y despalladora de aceituna se ha seleccionado de un catalogo de la empresa Calero, la maquina seleccionada es la ECO 1000 de la serie ADVANCED.

La máquina tiene una altura de 4,91 m y un ancho de 4,65 m sin contar la escalera. Además, cuenta con un espesor de 2,5 m sin contar la escalera.

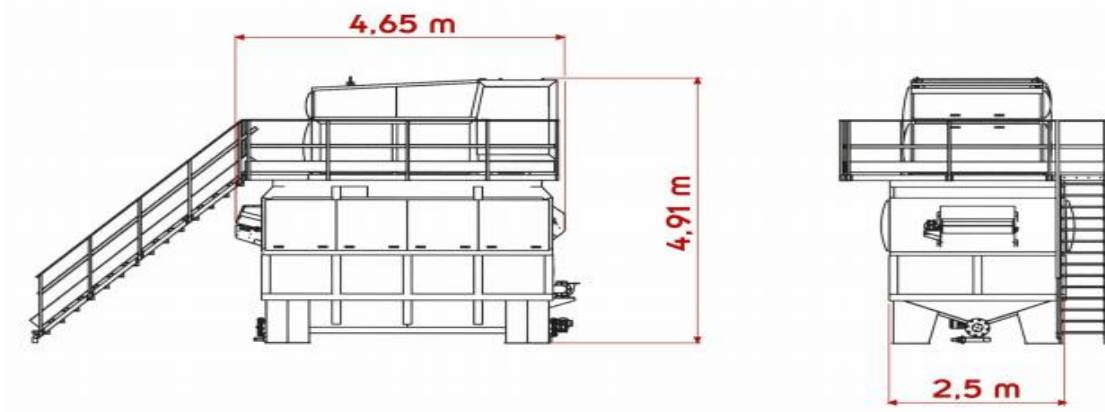


Figura 14: Esquema de la limpiadora y despalladora

Las cualidades de la maquina limpiadora y despalladora son las siguientes:

- Elimina la totalidad de las impurezas debidas al barro.
- Ahorro de agua debido a un sistema en circuito cerrado con un depósito compartimentado y una descarga parcial
- Alto rendimiento, puede procesar 1t de aceituna por minuto.
- Posee un bypass, en caso de que se decida no lavar la aceituna, todo el proceso se realiza sin romper el producto, además cuenta con una columna de secado donde al finalizar el lavado se seca toda la aceituna.

Las características técnicas de la maquina son las siguientes:

- Limpiadora: caja verde situada en la zona superior de la máquina, posee un ancho de 2,1 m, un largo de 3 m y una altura de 2,3 m.  
La potencia nominal es de 17,9 kW (24 CV).  
Posee un sistema de cribado de varillas, las cuales se autolimpian para poder trabajar con barro.
- Lavadora: se sitúa debajo de la limpiadora. Las características físicas son un ancho de 1,5 m, un largo de 6 m y una altura de 2 m.  
La potencia nominal de la maquina es de 19,6 kW (26 CV).

Posee un sistema de prelavado de la aceituna, donde separa la piedra de la misma por flotación, además del ya mencionado bypass, que permite al operario decidir si lavar o no lavar la aceituna.

- Despalilladora: se puede apreciar en la foto, es el cajón verde que se halla en la parte baja de la máquina, sus características son las siguientes. Ancho de 1,7 m, largo de 1,8 m y una altura de 0,25 m. La potencia nominal de la misma es de 0,75 kW (1 CV).

Cuenta con 15 rodillos de escurrido y otros 14 rodillos de despalillado.

Además, posee una cinta para retirar los palos separados de la aceituna, de 0,45 m de ancho y de 3 m de largo formada por una banda lisa.

- Depósito: como se ha comentado anteriormente cuenta con un depósito propio para el lavado, con las siguientes características.

Ancho de 2.5 m, largo de 4 m y alto de 1,5 m. Posee una capacidad de 710 litros y una potencia nominal de 1,1 kW (1,5 CV).

El depósito cuenta con un sinfín para retirar los lodos producidos en el lavado, así como un sistema de decantación y una válvula de vaciado.

- Jaulón y tolva para la hoja: la máquina cuenta además con una jaula de grandes superficies donde almacena toda la hoja separada de la aceituna en el proceso de limpieza. Esta zona de la máquina cuenta con una gran superficie de escape para la presión ejercida por el aire en el proceso de separación, además, la hoja se almacena en una tolva incorporada de fácil acceso para el operario.

### **5.3.3 Balanza automática.**

Se ha seleccionado una báscula de pesada continua marca Rover-Bas, modelo RV-600 PC, totalmente electrónica, formada por dos tolvas para recepción y pesaje. Sus características físicas son:

- capacidad de 600 kg.
- Altura total báscula: 210 cm.

Consta de los siguientes elementos:

- Tolva receptora. Tiene como misión retener la aceituna para que no se pare la cinta transportadora de alimentación a báscula, mientras está realizando la pesada.
- Tolva de pesaje. Realiza la pesada de aceituna. Está formada por un sistema de pesaje con cuatro células de carga. Estas células están fabricadas en acero inoxidable, y son totalmente estancas para impedir que penetre la humedad debido a las condiciones de trabajo a que son sometidas. Células de carga homologadas con aprobación CE de modelo.

- Estructura de sustentación. Fabricada en acero al carbono. Tiene como misión la fijación de la tolva receptora y de pesaje.
- Estructura provista en un lateral de la tolva de pesaje, de puertas correderas de aluminio con cristales reforzados de gran grosor. En los otros tres laterales se acopla un cerramiento metálico, para evitar en todo momento que influya el aire en la pesada, además de preservar a la báscula del polvo y elementos de intemperie.
- Las compuertas de las tolvas están taladradas para evitar pesar el agua que pueda llevar la aceituna. Las tolvas y estructura llevan imprimación y pintura especial para intemperie.



Figura 15: Basculas

### 5.3.4 Diseño de cintas transportadoras.

En este apartado se va a explicar como se han diseñado todas las cintas transportadoras a partir de una serie de tablas.

En primer lugar, es importante definir la cantidad de material que se va a transportar en la cinta. La altura que tiene que salvar, la longitud de la cinta. Todos estos datos dependen del layout de la planta por tanto las cintas no serán iguales en todos los puntos de la misma.

En primer lugar, se va a diseñar la cinta transportadora que va desde la tolva de recepción hasta la maquina de despallado y limpieza. Para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$Q = Q_m \times v \times k \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Q = \frac{m}{\rho_B} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- $Q$  es el caudal volumétrico. ( $m^3/h$ )
- $Q_m$  es un factor a definir y a partir del cual se obtienen datos estandarizados en una tabla, en las unidades  $\frac{\left(\frac{m^3}{h}\right)}{\left(\frac{m}{s}\right)}$ .
- $v$  es la velocidad nominal de la cinta, se calcula por medio de la iteración, en un primer momento se supone de 1 m/s.
- $K$  es una constante que depende del ángulo de inclinación de la cinta.
- $m$  es el caudal másico expresado en t/h.
- $\rho_B$  es la densidad aparente del material empleado.

Las características necesarias de esta primera cinta transportadora son las siguientes. La tolva de recepción se encuentra a un nivel superior al que se encuentra la maquina de limpieza y despallado por tanto la altura que tiene que salvar no son casi 5 metros. Únicamente debe subir 1,5 m. Además, la distancia que debe recorrer es de 5 metros. El caudal másico de la cinta transportadora es de 50 t/h. A partir de estos datos comienza el diseño.

De la ecuación 6 se obtiene el valor de  $Q = \frac{50}{1.2} = 41.67 \frac{m^3}{h}$

A continuación, se obtiene el valor de  $K$ , para ello se calcula primero el ángulo de inclinación.

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{l}\right) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- $\delta$  es el angulo de inclinación de la cinta.
- $h$  es la altura que tiene que salvar la cinta.
- $l$  es la longitud que tiene la cinta.

De esta forma queda  $\delta = \tan^{-1}\left(\frac{1,5}{5}\right) = 18.55^\circ$ .

Introduciendo este valor en la figura 16 se obtiene el valor de la cosntante  $K$ , que como se puede observar es de 0,85.

**TABLA 3.2** Coeficiente K para bandas inclinadas

$\alpha^\circ$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,85	0,81
$\alpha^\circ$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
K	0,78	0,76	0,73	0,71	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59	0,56

Figura 16: tabla para coeficiente K de bandas inclinadas

v se toma como valor nominal de operación 1 m/s. De esta forma, se puede despejar de la ecuación 5 el valor

de  $Q_m$ . El resultado obtenido es el siguiente  $Q_m = 49,02 \frac{\left(\frac{m^3}{h}\right)}{\left(\frac{m}{s}\right)}$ .

Introduciendo este valor en la figura 17 se obtienen las siguientes características de la cinta.

**TABLA 3.1**  $Q_m$  en  $m^3/h$  para  $V = 1$  m/seg.

Ancho banda mm	Banda plana $m^3/h$	Banda en forma de arrieta					
		$L_1 = L_2$ mm	$\alpha = 20^\circ$ $m^3/h$	$\alpha = 30^\circ$ $m^3/h$	$L_1$ mm	$L_2$ mm	$\alpha = 30^\circ$ $m^3/h$
300	12	132	20	23	—	—	—
350	17	148	31	35	—	—	—
400	23	165	42	50	—	—	—
450	30	182	55	67	—	—	—
500	38	200	70	84	235	132	91
550	48	216	87	97	256	137	104
600	58	232	106	110	277	142	118
650	69	249	126	131	293	160	146
700	81	266	148	162	310	178	174
750	94	290	177	201	340	184	215
800	108	315	197	240	370	200	256
850	123	332	220	275	390	215	290
900	139	350	254	312	410	230	330
950	156	365	286	351	427	240	371
1000	173	380	318	390	445	250	413
1050	192	400	354	433	467	265	459
1100	212	420	390	476	490	280	505
1150	233	442	438	528	515	297	566
1200	255	465	467	574	540	315	607
1250	278	482	508	627	560	327	691
1300	301	500	550	680	580	340	775
1350	302	510	587	722	592	360	802
1380	304	520	625	765	605	380	830

Figura 17: Tabla de cintas para obtener el ancho de banda



Banda plana, con un ancho de banda de 600 mm y con un valor de  $Q_m$  de  $58 \frac{\left(\frac{m^3}{h}\right)}{\left(\frac{m}{s}\right)}$ . Se ha seleccionado la de banda plana porque además de cumplir con los requisitos necesarios resulta más económica.

Introduciendo el nuevo valor obtenido  $Q_m$  el valor final de velocidad de accionamiento  $v$  se obtiene sustituyendo de nuevo en la ecuación 5, de forma que  $v = 0.845$  m/s.

A continuación, se calcula la potencia de la cinta.

$$W = (W1 + W2 + W3 + W4) \times (1 + \beta) \times (1 + K_1) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- $W1$  es la potencia neta en CV necesaria para el movimiento de la banda en vacío horizontal para cada 30 m/min de velocidad, por tanto, como se tiene una velocidad distinta, el valor  $W1$  que habrá que utilizar en la fórmula del cálculo de la potencia es:

$$W1 = W1_{\text{tabulado}} \cdot \left(\frac{v}{0.5}\right) \quad \text{Ecuación 9}$$

- $W2$  es la potencia neta en CV necesaria para el transporte horizontal de la carga. Este valor depende el caudal másico de alimentación y de la distancia entre centros de tambores o poleas extremas
- $W3$  es la potencia en CV necesaria para la elevación del material. Este valor depende del caudal másico de alimentación y de la elevación
- $W4$  es la potencia en CV a añadir por cada tripper de descarga.
- $\beta$  es el factor de tensión en las poleas finales y del tensor, cuyo valor depende del tipo de accionamiento, tipo de tensor y cojinetes finales usados.
- $K_1$  es un coeficiente cuyo valor depende del arco de contacto y tipo de tensor.

Se comienza a calcular la potencia. En primer lugar, para  $W1$ , se comienza obteniendo el valor de  $W1_{\text{tabulado}}$ , a partir de la figura 18 en este caso con un ancho de banda de 600 mm y una distancia entre centros de tambores de menos de 15 metros se obtiene el valor de 0,5. Introduciéndolo en la ecuación 9 se obtiene el valor de  $W1$ .

$$W1 = 0,5 \times \frac{0,845}{0,5} = 0,845 \text{ CV}$$

TABLA 1.6.  
Potencia neta en CV necesaria para el movimiento de la banda en vacío horizontal. Para cada 30 metros por minuto de velocidad

Ancho mm	Distancia entre centros de tambores o poleas extremas en metros											
	15	30	60	90	120	150	180	240	305	365	460	550
300	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	—	—	—
350	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	—	—	—
400	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,5	—	—	—
450	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	—
500	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,8	—
550	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,1	2,5	3,1	—
600	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,7	3,3	—
650	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,1	2,5	2,9	3,5	4,3
700	0,5	0,6	0,9	1,0	1,3	1,5	1,7	2,2	2,7	3,1	3,6	4,6
750	0,6	0,7	1,0	1,1	1,4	1,6	1,8	2,4	2,9	3,3	3,8	4,9
800	0,6	0,7	1,0	1,1	1,5	1,7	1,9	2,5	3,0	3,5	4,0	5,3
850	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	1,9	2,1	2,8	3,3	3,9	4,6	5,7
900	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,3	3,0	3,6	4,2	5,1	6,0
950	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,5	3,2	3,9	4,5	5,5	6,4
1 000	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,7	3,4	4,1	4,7	5,8	6,8
1 050	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	2,6	2,9	3,6	4,3	5,0	6,1	7,1
1 100	0,9	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,1	3,9	4,6	5,3	6,5	7,5
1 150	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,0	3,4	4,2	4,9	5,7	6,9	8,0
1 200	1,0	1,4	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,4	5,2	6,0	7,2	8,4
1 250	1,1	1,5	1,9	2,3	2,8	3,4	3,8	4,6	5,5	6,4	7,5	8,8
1 300	1,1	1,6	2,0	2,4	2,9	3,6	4,0	4,8	5,8	6,7	7,8	9,2
1 380	1,3	1,8	2,2	2,6	3,1	3,9	4,3	5,1	6,2	7,2	8,2	9,7

NOTA.—Si los cojinetes de los rodillos son de deslizamiento y no a bolas, aumentense estos valores en un 75 %.

Figura 18: Tabla para el calculo de la potencia

Para calcular W2, se utiliza la figura 19.

TABLA 1.7.  
Potencia neta en CV necesaria para el transporte horizontal de la carga

Tm/h	Distancia entre centros de tambores o poleas en metros											
	15	30	60	90	120	150	180	240	305	365	460	550
10	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
50	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,5	1,8	2,2	2,6
100	0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	3,6	4,3	5,1
150	1,0	1,2	1,7	2,1	2,5	3,0	3,3	4,3	5,2	5,8	7,1	8,4
200	1,3	1,6	2,2	2,7	3,3	3,9	4,3	5,6	6,7	7,6	9,6	11,3
250	1,5	1,9	2,6	3,3	3,9	4,6	5,2	6,6	7,9	9,2	11,2	13,3
300	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	5,9	6,8	8,6	10,3	12,0	14,7	16,9
350	2,4	2,9	3,9	4,8	6,0	7,1	8,1	10,2	12,3	14,4	17,6	20,7
400	2,7	3,3	4,4	5,6	6,8	8,0	9,2	11,5	13,9	16,3	19,8	23,3
450	3,0	3,6	5,0	6,3	7,8	9,2	10,5	13,2	15,8	18,4	22,5	26,6
500	3,3	4,0	5,4	6,9	8,3	9,7	11,2	14,1	17,0	19,9	24,2	28,5
600	3,9	4,8	6,5	8,2	10,0	11,7	13,4	16,8	20,4	23,9	29,0	34,2
700	4,5	5,6	7,6	9,6	11,7	13,6	15,7	19,7	23,7	27,8	33,8	39,9
800	5,2	6,4	8,7	11,0	13,3	15,5	17,8	22,5	27,2	31,6	38,7	45,6
900	5,9	7,2	9,9	12,5	15,1	17,7	20,4	25,6	30,9	36,1	44,0	51,9
1 000	6,5	7,9	10,8	13,7	16,6	19,5	22,4	28,2	33,9	39,6	48,4	57,0
1 200	7,7	9,4	12,8	16,2	19,6	23,0	26,4	33,5	40,1	47,0	57,2	67,4
1 400	8,9	10,8	14,8	18,7	22,7	26,6	30,5	38,4	46,3	54,2	66,0	77,8
1 600	10,6	13,5	17,7	22,5	27,2	31,9	36,6	46,1	55,4	65,0	79,2	93,4
1 800	11,8	14,4	19,7	25,0	30,2	35,5	40,7	51,2	61,7	72,2	88,0	103,7
2 000	13,0	15,9	21,7	27,4	33,2	39,0	44,8	56,3	67,9	79,4	96,8	114,1

NOTA.—Si los cojinetes de los rodillos son de deslizamiento y no a bolas, aumentense estos valores en un 75 %.

Figura 19: Tabla para el calculo de la potencia

Se observa fácilmente que el valor obtenido es  $W_2 = 0,3$  CV, pues  $Q = 50$  t/h y la distancia entre poleas es inferior a 15 m.

Para calcular W3 se utiliza la figura 20.

**TABLA 1.9.**  
**Potencia en CV necesaria para la elevación del material**

<i>Tm/h</i>	<i>Elevación en metros</i>													
	1,5	3	4,5	6	7,5	9	12	15	18	21	25	30	38	46
10	0,05	0,11	0,15	0,22	0,28	0,33	0,44	0,57	0,66	0,78	0,89	1,11	1,39	1,67
50	0,29	0,56	0,84	1,11	1,40	1,67	2,22	2,78	3,33	3,89	4,44	5,55	6,96	8,34
100	0,58	1,12	1,68	2,22	2,80	3,34	4,44	5,56	6,66	7,78	8,91	11,10	13,90	16,68
150	0,84	1,68	2,51	3,33	4,20	5,01	6,66	8,34	9,99	11,67	13,32	16,65	20,85	25,02
200	1,14	2,28	3,41	4,55	5,68	6,81	9,09	11,4	13,6	15,9	18,2	22,7	28,4	34,1
250	1,43	2,84	4,25	5,66	7,08	8,48	11,31	14,2	16,9	19,8	22,6	28,2	35,3	42,4
300	1,68	3,36	5,02	6,66	8,4	10,0	13,3	16,7	19,9	23,3	26,6	33,3	41,7	50,0
350	1,97	3,92	5,86	7,77	9,8	11,7	15,5	19,6	23,2	27,2	31,0	38,8	48,6	58,3
400	2,28	4,56	6,82	9,1	11,3	13,6	19,2	22,8	27,2	31,8	36,4	45,4	56,8	68,2
450	2,53	5,05	7,58	10,1	12,6	15,2	20,2	25,3	30,3	35,4	40,4	50,5	61,1	75,8
500	2,79	5,56	8,34	11,1	13,9	16,7	22,2	27,8	33,3	38,9	44,4	55,6	69,5	83,3
600	3,36	6,72	10,04	13,3	16,8	20,0	26,6	33,4	39,8	46,6	53,2	66,6	83,4	100,0
700	3,94	7,84	11,72	15,5	19,6	23,4	31,0	39,0	46,4	54,4	62,0	77,6	97,2	116,6
800	4,56	9,12	13,64	18,2	22,6	27,2	38,4	45,6	54,4	63,6	72,8	90,8	113,6	136,4
900	5,05	10,1	15,2	20,2	25,3	30,3	40,4	50,5	60,6	70,7	80,8	101	126	152
1 000	5,8	11,2	16,8	22,2	28,0	33,4	44,4	55,6	66,6	77,8	88,8	111	139	167
1 200	6,7	13,4	20,1	26,6	33,6	40,0	53,2	66,8	79,6	93,2	106,4	133	167	200
1 400	7,9	15,7	23,4	31,0	39,2	46,8	62,0	78	93	109	124	155	194	223
1 600	9,1	18,2	27,3	36,8	45,2	54,4	76,8	91	109	127	145	181	227	263
1 800	10,1	20,2	30,3	40,4	50,5	60,6	80,8	101	121	141	162	202	253	303
2 000	11,4	22,8	34,1	45,5	56,8	68,1	90,9	114	136	159	182	227	284	341

NOTA.—Si la transportadora es descendente, se restará esta potencia de la correspondiente para el transporte en horizontal.

Figura 20: Tabla para el calculo de la potencia

Siguiendo el mismo procedimiento que con W2 se obtiene un valor de W3=0,29. Pues la Q = 50 t/h y la elevación en metros es de 1,5 m.

Por último, para W4 se utiliza la figura 21, donde se observa que W4 es igual a 1,7 CV.

**TABLA 1.8.**  
**Potencia a añadir por cada tripper de descarga, en CV**

<i>Ancho de banda</i>	<i>CV</i>
300 mm	0,40
400 mm	0,80
500 mm	1,20
600 mm	1,70
800 mm	2,70
1 000 mm	4,00
1 200 mm	6,00
1 400 mm	8,00

Figura 21: Tabla para el calculo de la potencia

Una vez calculadas las potencias se calculan los factores  $\beta$  y  $K_1$ , a partir de las figuras 22 y 23.

TABLA 1.10.  
Factor de tensión en las poleas finales y del tensor ( $\beta$ )

Tipo de accionamiento		Tipo de tensor		COJINETES FINALES	
				De deslizamiento	De bolas
Simple	Poleas desnudas	Horizontal	Tornillo	0,120	0,115
Simple	Poleas desnudas	Vertical	Automático	0,115	0,110
Simple	Poleas desnudas	Horizontal	Automático	0,108	0,105
Simple	Poleas recubiertas	Vertical	Automático	0,110	0,105
Simple	Poleas recubiertas	Horizontal	Automático	0,105	0,103
Tándem		V. y H.	Automático	0,103	0,102

Figura 22: Tabla para el calculo de la potencia

TABLA 1.11.  
Valor del coeficiente  $K_1$

Arco de contacto	TENSOR DE TORNILLO		TENSOR DE CONTRAPESO	
	Polea desnuda	Polea recubierta	Polea desnuda	Polea recubierta
160°	1,15	0,98	0,75	0,60
180°	1,00	0,87	0,64	0,52
200°	0,87	0,73	0,54	0,40
210°	0,83	0,67	0,50	0,40
225°	0,70	0,63	0,43	0,34
250°	0,62	0,52	0,37	0,28
275°	0,55	0,43	0,31	0,23
300°	0,45	0,37	0,26	0,19
360°	0,37	0,27	0,21	0,13
400°	0,27	0,20	0,14	0,11
420°	0,25	0,19	0,13	0,09
450°	0,22	0,16	0,11	0,07
480°	0,19	0,14	0,09	0,06

Figura 23: Tabla para el calculo de la potencia

Se selecciona para esta cinta un accionamiento simple, con poleas desnudas, tensor vertical automático y cojinetes finales de bolas. Se obtiene por tanto un factor  $\beta = 0,110$ .

Para este caso el valor de  $K_1$  con arco de contacto de  $210^\circ$  se obtiene un valor de  $K_1 = 0,4$ .

El resultado final de la potencia es de  $W = 4,87$  CV.

Todo queda resumido en la siguiente tabla. Además, para el diseño de las siguientes cintas no se presentará de nuevo todos los cálculos intermedios, si no que únicamente se mostrará la tabla resumen con los resultados obtenidos y los datos iniciales.

Q (m <sup>3</sup> /h)	H (m)	L (m)	Qm $\frac{(m^3/h)}{(m/s)}$	tipo	ancho (mm)	velocidad (m/s)
41,67	1,5	5	58	Banda plana	600	0,845

Tabla 7: Características de la cinta transportadora

W1	W2	W3	W4	BETA	K1	W TOTAL (CV)	W (kJ)
0,845	0,3	0,29	1,7	0,11	0,4	4,87	3,582

Tabla 8: Características de la cinta transportadora

A continuación, se muestra el diseño de la cinta transportadora que va desde la maquina despalilladora hasta la balanza automática. Con un caudal similar una distancia de 6 metros y una altura de 2 metros.

Q (m <sup>3</sup> /h)	H (m)	L (m)	Qm $\frac{(m^3/h)}{(m/s)}$	tipo	ancho (mm)	velocidad (m/s)
41,67	2	6	58	Banda plana	600	0.904

Tabla 9: Características de la cinta transportadora

W1	W2	W3	W4	BETA	K1	W TOTAL (CV)	W (kJ)
0,904	0,3	0,425	1,7	0,11	0,4	5,17	3.84

Tabla 10: Características de la cinta transportadora

Por último, se va a diseñar una cinta que suba una altura de 8 metros con una longitud de 19 metros, y con el mismo caudal, que va desde la balanza al aero-giratorio.

Q (m <sup>3</sup> /h)	H (m)	L (m)	Qm $\frac{(m^3/h)}{(m/s)}$	tipo	ancho (mm)	velocidad (m/s)
41,67	8	18	69	Banda plana	650	0.88

Tabla 11: Características de la cinta transportadora

W1	W2	W3	W4	BETA	K1	W TOTAL (CV)	W (kJ)
0.888	0,3	1,49	1,95	0,11	0,4	7,19	5,29

Tabla 12: Características de la cinta transportadora

### 5.3.5 Diseño de tolvas de almacenamiento

Para el diseño de las tolvas emplearemos las ecuaciones y el procedimiento expresados en el apartado 1, pues las tolvas serán iguales, pero de distinta medida y capacidad. El material utilizado también será acero inoxidable.

El almacenamiento máximo de las aceitunas es 35-40 horas, con unas 380 t/día. Por tanto, suponiendo el caso más desfavorable hay que tener mínimo 633.33 t de almacenamiento. Dividiendo entre el peso específico de la aceituna ( $1,2 \text{ t/m}^3$ ), el resultado es de  $527,77 \text{ m}^3$ , redondeando por lo alto se necesita un total de  $550 \text{ m}^3$ , proporcionando así cierto margen en caso de fallo. Es lógico que los  $550 \text{ m}^3$  deben estar repartidos en más de un depósito, pues las dimensiones de uno solo son totalmente inviables operacionalmente. Se ha decidido que lo mejor es un total de 8 depósitos de forma que se repartan a partes iguales toda la carga. Multiplicando los  $550 \text{ m}^3$  por el peso específico se convierten en 660 t, divididas en los 8 depósitos hace una capacidad por depósito de 82.5 t. Operando de la forma expresada en el punto 1 la tolva queda de la siguiente forma.

Capacidad (t)	Volumen ( $\text{m}^3$ )	$\beta$ ( $^\circ$ )	$\alpha$ ( $^\circ$ )	D (m)	H (m)	h (m)
82,5	114,58	45	30	3.82	10	1,91

Tabla 13: Características de las tolvas de almacenamiento

### 5.3.6 Diseño de los tornillos sin fin

Para el diseño de tornillos sin fin en primer lugar se ha seleccionado el tipo de hélice, en este caso se va a utilizar la hélice continua, de paso igual al diámetro. Pues es el tipo de hélice mas habitual para el transporte de sólidos.



Figura 24: Hélice de un tornillo sin fin

A continuación, se representa el método de calculo para el diseño del tornillo sin fin. Se ha supuesto la aceituna como un material de clase IV, el cual comprende un peso específico entre 0,8 - 1,6 t/m<sup>3</sup>. El diámetro del tornillo seleccionado es de 500 mm, para este caso la velocidad de giro, n, es de 50 rpm.

Las ecuaciones a emplear son las siguientes.

$$S = \lambda * \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

- $S$  es el área de relleno del transportador, en  $m^2$
- $D$  es el diámetro del canalón del transportador, en  $m$
- $\lambda$  es el coeficiente de relleno de la sección

Este coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) deberá ser menor que la unidad con objeto de evitar que se produzca amontonamiento del material que dificultaría su correcto flujo a lo largo del canalón. En la siguiente tabla se indican los valores del coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) en función del tipo de carga que transporta el tornillo:

Tipo de carga	Coficiente de relleno, $\lambda$
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,4

Figura 25: Tabla para el calculo de  $\lambda$

La velocidad de desplazamiento ( $v$ ) del transportador es la velocidad con la que desplaza el material en la dirección longitudinal del eje del tornillo. Depende tanto del paso del tornillo como de su velocidad de giro. La expresión que permite conocer la velocidad de desplazamiento en un transportador de tornillo es la siguiente:

$$v = \frac{p * n}{60} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- $v$  es la velocidad de desplazamiento del transportador, en  $m/s$
- $p$  es el paso del tornillo o paso de hélice, en  $m$
- $n$  es la velocidad de giro del eje del tornillo, en  $r.p.m.$

La capacidad de transporte de un transportador de tornillo sin fin viene determinada por la siguiente expresión que calcula el flujo de material transportado:

$$Q = 3600 * v * \rho * S * i \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

- $Q$  es el flujo de material transportado, en  $t/h$
- $S$  es el área de relleno del transportador, en  $m^2$ , visto en el apartado anterior
- $v$  es la velocidad de desplazamiento del transportador, en  $m/s$ , visto en el apartado anterior
- $\rho$  es la densidad del material transportado, en  $t/m^3$
- $i$  es el coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador.

En la siguiente tabla se muestran los valores de este coeficiente ( $i$ ) de disminución de flujo que indica la reducción de capacidad de transporte debida a la inclinación:

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
$i$	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Figura 26: Tabla para el calculo de  $i$

A continuación, se muestra el cálculo de la potencia de accionamiento del tornillo sin fin.

La potencia de accionamiento ( $P$ ) de un transportador de tornillo sin fin se compone de la suma de tres componentes principales, según se refleja en la siguiente expresión:

$$P = P_N + P_H + P_i \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- $P_H$  es la potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material
- $P_N$  es la potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío
- $P_i$  es la potencia necesaria para el caso de un tornillo sin fin inclinado.

Potencia para el desplazamiento horizontal del material,  $P_H$ , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_H = c_0 * \frac{Q * L}{367} \quad \text{Ecuación 14}$$



Donde:

- Q es el flujo de material transportado, en t/h
- L es la longitud del transportador, en m
- $c_0$  es el coeficiente de resistencia del material transportado. Para el conocer el valor de este coeficiente, se puede emplear la figura 28 obtenida empíricamente a partir del ensayo con materiales de distinta naturaleza.

Tipo de material	Valor de $c_0$
Harina, serrín, productos granulosos	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

Figura 27: Tabla para la obtención de  $c_0$

La potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío se puede calcular con bastante aproximación mediante la siguiente expresión.

$$P_N = \frac{D \cdot L}{20} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

- D es el diámetro de la sección del canalón de la carcasa del transportador, en m
- L es la longitud del transportador, en m

Normalmente, el valor nominal de esta potencia es muy pequeña en comparación con la potencia necesaria para el desplazamiento del material del punto anterior.

Potencia para el caso de un tornillo sin fin inclinado ( $P_i$ ). Esta componente se aplica para el caso que se use un transportador de tornillo inclinado, donde exista una diferencia de cota (H) entre la posición de la boca de entrada del material y la boca de salida o de descarga.

En este caso, la potencia necesaria para realizar el desplazamiento del material por un transportador de tornillo inclinado se emplea la siguiente expresión.

$$P_i = \frac{Q \cdot H}{367} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

- Q es el flujo de material transportado, en t/h
- H es la altura de la instalación, en m

Una vez explicado el procedimiento de diseño, se va a presentar las características y el número de tornillos sin fin necesarios, para el transporte de aceituna desde las tolvas de almacenamiento hasta los molinos de martillos, donde se formará la pasta de aceituna.

Debido a la disposición de las tolvas y el diámetro o lado de las mismas, lo más conveniente es hacer tornillos sin fin de 4 metros de longitud de forma que la aceituna caiga de una tolva al tornillo y este la transporte hasta el siguiente, así hasta llegar al tornillo que desemboca en las trituradoras de martillo. Como la disposición es de dos filas de cuatro tolvas serán necesarios cuatro tornillos por fila, es decir 8 en total. Todos poseerán las mismas características, excepto el último que desemboca en la trituradora de martillos, el cual tendrá una longitud de 6 metros, por tanto, se diseñarán dos.

A continuación, se representa un esquema de como sería la disposición de los tornillos, todos poseerán una inclinación de forma que asciendan una altura de 0,5 m, para así poder descargar en el siguiente tornillo y que estén todos al mismo nivel.

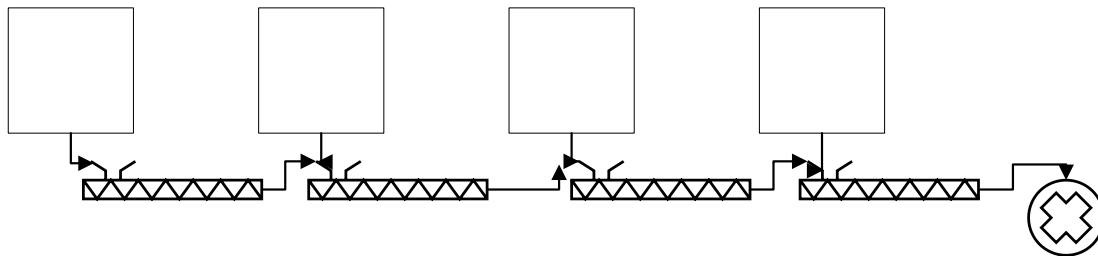


Figura 28: Disposición de los tornillos sin fin

Utilizando la ecuación 10, se obtiene el área de relleno, con un diámetro de  $D=0,5$  m y un coeficiente de relleno de 0,25, pues se supone que la aceituna es poco abrasiva.

$$S = 0.25 * \frac{\pi * 0.5^2}{4} = 0.049 \text{ m}^2$$

Empleando la ecuación 11, se calcula la velocidad de desplazamiento, sabiendo que la característica de nuestra hélice es que posee el paso de hélice similar al diámetro.

$$v = \frac{0.5 * 50}{60} = 0,4167 \text{ m/s}$$

A continuación, se calcula el flujo en t/h, con la ecuación 12. Para ello es necesario obtener  $i$  a partir de la figura 23. Siendo una altura de 1 metro y una longitud de 4 metros las características de diseño del tornillo sin fin, el ángulo de inclinación resulta de:

$$\delta = \tan^{-1} \left( \frac{1}{4} \right) = 15,6^\circ$$

Por tanto,  $i$  es igual a 0,7.

El flujo queda de la siguiente forma:

$$Q = 3600 * 0,049 * 0,4167 * 1,2 * 0,7 = 61,85 \text{ Tm/h}$$

El flujo necesario, es de 16,8 t/h, entre las dos líneas, por tanto, se observa que cumple de sobra el requisito de la capacidad.

A continuación, se va a calcular la potencia.

Para la potencia de desplazamiento horizontal, el coeficiente de resistencia  $c_0$  es 4, según la figura 24.

$$P_H = 4 * \frac{61,85 * 4}{367} = 2,696 \text{ kW}$$

La potencia de accionamiento en vacío es igual a:

$$P_N = \frac{0,5 * 4}{20} = 0,1 \text{ kW}$$

Por ultimo la potencia del sin fin inclinado es:

$$P_i = \frac{61,85 * 1}{367} = 0,169 \text{ kW}$$

La potencia total como se ha expresado en la ecuación 13, no es mas que la suma de todas las potencias, de forma que la potencia total del tornillo es igual a:

$$P = 2,696 + 0,1 + 0,169 = 2,965 \text{ kW}$$

En la siguiente tabla se muestra un resumen con las características de los 6 primeros tornillos sin fin.

D (m)	L (m)	H (m)	S (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Q (t/h)	P <sub>N</sub> (kW)	P <sub>H</sub> (kW)	P <sub>i</sub> (kW)	P (kW)
0,5	4	1	0,049	0,4167	61,85	2,696	0,1	0,169	2,965

Tabla 14: Características de los tornillos sin fin

Los dos tornillos sin fin que desembocan en la trituradora de martillos se calculan de la misma forma. Únicamente se va a representar la tabla de resultados.

D (m)	L (m)	H (m)	S (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	Q (t/h)	P <sub>N</sub> (kW)	P <sub>H</sub> (kW)	P <sub>i</sub> (kW)	P (kW)
0,5	6	1	0,049	0,4167	61,85	4,045	0,15	0,169	4,363

Tabla 15: Características de los tornillos sin fin

Como se observa en las ecuaciones la variación de la longitud del tornillo afecta únicamente a la potencia y no a la geometría del mismo.

### 5.3.7 Dimensionamiento de la trituradora de martillos

En este apartado se va a dimensionar y seleccionar el modelo de molino de martillos. La línea de aceituna se transporta a los molinos desde las tolvas de almacenamiento a través de los sin fin anteriormente diseñados. Se van a colocar por tanto dos trituradoras de martillo, una por cada línea.

La capacidad de la trituradora debe ser de 8,4 t/h, debido a que el flujo entre las dos líneas es de 16,8 t/h. por tanto y para cumplir con los requisitos que tiene la planta se ha seleccionado el siguiente modelo.

El molino de la marca “centrifugación alemana”, modelo M60.

El cual posee las siguientes características.

- Velocidad nominal del trabajo: 2950 rpm
- Potencia: 60 CV
- Potencia del alimentador (inyector): 1 CV
- Capacidad molturación:
- 9 t / h



Figura 29: Trituradora de martillos

Los datos geométricos son los siguientes. Con las cotas en metros.

- Alto: 1,43 m
- Ancho: 1,55 m
- Espesor: 1,2 m

### 5.3.8 Dimensionamiento de las termo-batidoras

Para el dimensionamiento de las termo-batidoras es necesario definir el tiempo de residencia de la pasta en estos equipos.

El tiempo de residencia óptimo para el batido en la almazara es de 90 minutos. Este tiempo de residencia permite una correcta separación posterior.

Una vez definido el  $t_r$  es sencillo calcular la capacidad necesaria de las termo-batidoras.

$$16.8 \frac{Tm}{h} * \frac{1 h}{60 min} * 90 min = 25,2 t$$

Por tanto, la capacidad de las termo-batidoras debe ser de al menos 26 t.

Se ha seleccionado el conjunto de termo-batidoras, de la marca “centrifugación alemana”, el modelo B400-CA.



Figura 30: Termo-batidoras

La termo-batidora está fabricada totalmente en acero inoxidable, tanto las partes en contacto con la masa como la cámara de calefacción. Posee unos ejes horizontales dotados de paletas especiales diseñadas para el batido y aros de limpieza en toda su longitud para facilitar el transporte de la masa. Cuenta con casquillos antidesgaste y quitacimbras en cada uno de ellos. El accionamiento se realiza mediante motorreductores de baja velocidad acoplados en ambos extremos de eje.

Datos técnicos:

- Capacidad: 30 t
- Numero de Cuerpos: 3
- Potencia: 45 CV
- Temperatura ideal del agua de calefacción: 35 °C
- Presión máxima en cámara de calefacción: 0,6 atm
- Velocidad del motor: 1455 rpm
- Vueltas/minuto del eje (n): 14 rpm
- Nivel acústico: 79 db (A)
- Peso: 9490 Kg

Datos geométricos:

- Alto: 4,72 m
- Ancho: 5,92 m
- Espesor: 4,36 m

### **5.3.9 Dimensionamiento del decanter horizontal**

La separación del aceite de las otras fases, sólida y líquida, de la pasta de aceituna requiere de la utilización de una fuerza físico-mecánica que permita la salida del aceite de oliva.

Tal separación tiene lugar en el Decanter, constituido por un tambor externo de acero de forma cilindro-cónica, que gira a alta velocidad, en el interior del cual gira, un sinfín cuya hélice ajusta a la superficie interna del tambor.

La pasta es inyectada en la parte opuesta donde saldrá el alperujo y, por efecto de la enorme fuerza centrífuga, se separa en sus fases constituyentes. La fase sólida u orujo es forzada a avanzar hacia su boca de descarga, situada en la parte cónica, por el sinfín interno. La fase líquida acuosa o alpechín, es evacuada por la salida del orujo (cuya mezcla se denomina alperujo). La fase líquida oleosa, inmiscible con el agua de vegetación, y con un peso específico más bajo, se mueve hacia una ventana de salida situada en la misma parte del decanter por donde se inyecta la masa.

Las características del decanter son:

- Accionamiento mediante variador de frecuencia con control de velocidad. De forma que mantiene la velocidad de rotación de la máquina constante, con independencia de la carga de trabajo.
- Posee una bancada autoportante y coberturas del tambor diseñadas para minimizar el ruido y vibración producidos por la rotación del tambor.

- Provisto de inyector regulable, que permite ajustar, con el decanter en marcha y la bomba de masa funcionando, el punto óptimo de trabajo, en función del tipo de aceituna o producto a separar de forma inmediata.
- Bajo coste de mantenimiento. Fiabilidad y alta capacidad de producción.

Para la selección del decanter se ha seguido la recomendación de la empresa “Amenduni”.

PRODUCCIÓN REQUERIDA (Kg/h)	INSTALACIÓN RECOMENDADA			POTENCIA INSTALADA (Aprox.)
	MOLINO	BATIDORA	DECANTER	
2.000 / 5.000	A40	1V40 / 2V50	REX 100	90 KW
3.000 / 7.000	A50	1V60 / 3V50	REX 150	100 KW
4.000 / 9.000	A60	2V40 / 3V60	REX 200	120 KW
5.000 / 11.000	A60	2V50 / 4V50	REX 250	130 KW
6.000 / 13.000	2xA50	2V60 / 4V60	REX 300	155 KW
7.000 / 15.000	2xA60	3V60 / 6V60	REX 350	175 KW
8.000 / 17.000	2xA60	3V80 / 6V80	REX 400	185 KW

Figura 31: Tabla para la selección del decanter

La producción requerida de la planta hace necesaria la selección del decanter “rex 400”.



Figura 32: Decanter horizontal

Datos técnicos:

- Potencia: 55 kW
- Velocidad del eje: 3050 rpm

Datos geométricos:

- Alto: 1,65 m
- Ancho: 1,2 m
- Largo: 4,2 m

### 5.3.10 Dimensionamiento de la centrifugadora

Para el dimensionamiento de la centrifugadora, hay que tener en cuenta únicamente el caudal de aceite sucio. Hasta el decanter se ha diseñado una línea, de un total de tres líneas, que hacen las 42 t/día de la planta al completo. Una vez llegados hasta la centrifugadora, las tres líneas se vuelven a unir en una sola pues el caudal de aceite de oliva es inferior al caudal proveniente de los molinos.

El caudal de aceite de oliva uniendo las tres líneas de proceso es de 11,8 m<sup>3</sup>/h. No existen centrifugadoras de esas dimensiones, por lo que lo más óptimo es poner varias centrifugadoras de forma que se cubran los 11,8 m<sup>3</sup>/h.

Se ha seleccionado la centrifuga vertical de la marca “centrifugación alemana”, el modelo SCP-590-CA.

Esta separadora de aceite está totalmente automatizada, fabricada sobre un chasis de fundición gris, el rotor y todos los componentes en contacto con el aceite están fabricados en acero inoxidable.



Figura 33: Centrifugadora vertical

Montada sobre una bancada de perfiles laminados, es autolimpiable y con una instalación para agua y aceite en acero inoxidable. Incorpora un cuadro eléctrico para su funcionamiento y la opción de realizar una descarga manual.

Datos técnicos:

- Velocidad máxima del tambor: 5800 rpm
- Capacidad: 4,5 m<sup>3</sup>/h
- Temperatura mínima y máxima de alimentación: 0-95 °C
- Presión mínima y máxima del líquido de maniobra: 1,8-2,2 bar



- Peso del separador: 1800 Kg
- Potencia: 30 CV
- Nivel acústico: 85 db (A)
- Peso del rotor: 440 Kg

Datos geométricos:

- Alto: 2,18m
- Ancho: 2,48 m
- Espesor: 1,3 m

### 5.3.11 Diseño de los depósitos de decantación de aceite

La decantación aplicada al proceso de extracción del aceite de oliva, se trata exactamente de la separación aceite, agua y sólidos, siendo estos últimos los residuos de pulpa y hueso de la aceituna que no han sido completamente separados de la fase líquida en el decanter.

En las líneas de extracción de la planta que se está diseñando es una parte del proceso que pierde gran parte de su importancia gracias a la utilización de una centrífuga vertical correctamente regulada. No obstante, la decantación por gravedad exige un control muy exhaustivo del purgado para evitar defectos en los AOVE's (Aceite de Oliva Virgen Extra) y no ofrece resultados suficientemente satisfactorios en todas las variedades de aceituna.

De forma general, la decantación que pretende separar un pequeño porcentaje de agua y purgas tras el centrifugado, se puede llevar a cabo en depósitos de fondo cónico de 15% de inclinación.

Para el diseño de los depósitos es necesario recalcar que el tiempo de residencia en estos depósitos es de 24 horas.

$$11,8 \frac{m^3}{h} * 24 h = 283,2 m^3$$

Este dato imposibilita el uso de un solo depósito, por tanto, como en casos anteriores, se va a dividir el volumen en varios depósitos.

Se van a colocar un total de 6 depósitos, de forma que cada uno posea aproximadamente 50 m<sup>3</sup>.

Fabricados en acero inoxidable.



Figura 34: Bidones de decantación de aceite

El dimensionamiento es el siguiente:

En primer lugar, se calculará el volumen del cilindro, posteriormente se obtendrá el volumen del cono y se sumaran los dos volúmenes.

Ecuaciones para el volumen del cilindro:

$$V_{cil} = h_{cil} * \pi * r^2 \text{ Ecuación 17}$$

Donde:

- $V_{cil}$  es el volumen del cilindro
- $h_{cil}$  es la altura del cilindro
- $r$  es el radio del cilindro

Ecuaciones para el volumen del cono:

$$V_{con} = \pi * hip * r + \pi * r^2 \text{ Ecuación 18}$$

$$hip = h_{con}^2 + r^2 \text{ Ecuación 19}$$

Donde:

- $V_{con}$  es el volumen del cono
- $hip$  es la hipotenusa del cono, si estuviera en 2D.
- $h_{con}$  es la altura del cono

Empleando la ecuación 17, con una altura para el cilindro de 5 metros. Y un radio de 1,5 metros. Se obtiene el volumen del cilindro. Para el volumen del cono calculamos primero la hipotenusa con la ecuación 19 y una altura del cono de 1,5 metros. El calculo de el volumen del cono es trivial sustituyendo el valor de la hipotenusa en la ecuación 18.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla resumen.

Radio (m)	H <sub>CIL</sub> (m)	H <sub>CONO</sub> (m)	Hip (m)	V <sub>CIL</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>CONO</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>TOTAL</sub> (m <sup>3</sup> )
1,5	5	1,5	2,12	35,34	17,06	52,4

Tabla 16: Características de los bidones de decantación

### 5.3.12 Diseño de los depósitos de aceite de oliva

El tiempo de residencia del aceite puede variar, pero está en torno a los 25 días. Por tanto, es necesario una capacidad de 7080 m<sup>3</sup>.

Los depósitos serán de la marca “calderería manzano”, de 4,35 metros de diámetro y 10,5 metros de altura. Con una capacidad de 155 m<sup>3</sup>,



Figura 35: Características de los depositos

Serán necesarios un total de 50 depósitos.

### 5.3.13 Dimensionado del separador pulpa hueso

El separador de pulpa-hueso es una máquina constituida principalmente por un eje rotor que gira por accionamiento eléctrico en el interior de un tamiz, que permite separar el hueso y la pulpa de frutos como la aceituna. Se trata de una máquina montada sobre bancada cuya función es separar el hueso de las aceitunas del resto formándose así la fase líquida del alperujo. Gracias a un tamiz cilíndrico en cuya interior gira un rotor de paletas, se desvía la fase líquida a través del mismo, mientras que los huesos son arrastrados hasta la piqueta de salida de hueso. La separadora pulpa-hueso ha sido diseñada para formar parte en una línea de producción oleica que se alimenta del subproducto proporcionado a través de la piqueta de entrada.



Figura 36: Separador pulpa-hueso

Se ha seleccionado el modelo 75 INOX, de la empresa “Tamesur”, con las siguientes características:

- Peso total (kg): 1400
- Capacidad de trabajo t/h: 15
- Potencia nominal (CV): 75
- Tensión eléctrica (V): 380/660

Las características geométricas son las siguientes:

- Altura (m): 2,17
- Anchura (m): 1,12
- Longitud (m): 2,90

En la planta las necesidades son de 36,24 t/h, por tanto, serán necesarias, 3 máquinas de separadores pulpa-hueso.

### 5.3.14 Tolvas de almacenamiento de pulpa y de hueso

Las tolvas se calcularán como en el primer apartado. En primer lugar, se definirán el tiempo de residencia y la cantidad de materia que deben almacenar.

Se comenzará con la tolva de alperujo:

Suponiendo un tiempo de residencia como máximo de 24 horas, y un peso específico de  $1,08 \text{ t/m}^3$ , la cantidad de alperujo a almacenar es la siguiente.

$$24,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 1,08 \frac{\text{Tm}}{\text{m}^3} * 24 \text{ h} = 640,25 \text{ Tm}$$

Dividido en un total de 6 depósitos de una capacidad de 80 t cada uno y según el procedimiento seguido en el apartado 1 las características de la tolva son las siguientes.

Capacidad (t)	Volumen (m <sup>3</sup> )	beta °	alpha (°)	D (m)	H (m)	h (m)
80	123,46	45	30	3,96	10	1,98

Tabla 17: Características de las tolvas de alperujo

Para la tolva de hueso de aceituna:

El tiempo de residencia es de 3 días y el peso específico de  $0,631 \text{ t/m}^3$ , la cantidad de alperujo a almacenar es de:

$$5,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0,631 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} * 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} * 3 \text{ días} = 250 \text{ t}$$

Empleando cuatro tolvas de 65 t y la misma altura para no descompensar el nivel del suelo, queda:

Capacidad t)	Volumen (m <sup>3</sup> )	beta °	alpha (°)	D (m)	H (m)	h (m)
65	100,31	45	30	3,57	10	1,79

Tabla 18: Características de las tolvas de hueso de aceituna

### 5.3.15 Selección de las bombas para trasiego de líneas.

En este apartado se seleccionarán las bombas para el trasiego, además se justificarán las opciones elegidas numéricamente.

La primera bomba a instalar será la de la línea 7, la cual se tiene que encargar de mover 42000 l/h, o lo que es lo mismo, 700 l/min. Para ello se ha seleccionado la bomba de pistón de la marca TRIEF, el modelo de bombas de pistón 800. A continuación, se presentan sus curvas características.

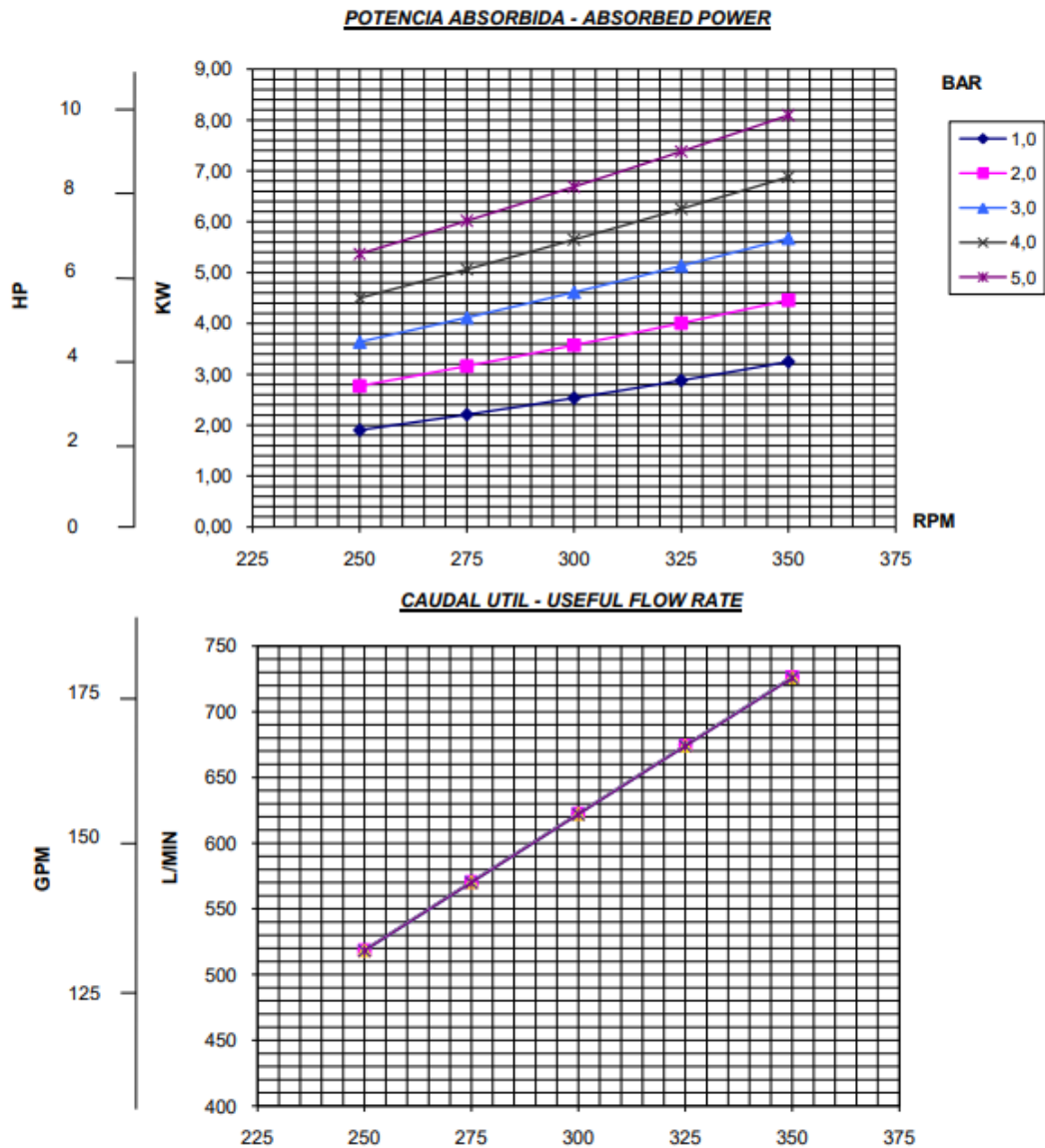


Figura 37: Curvas características de las bombas

Se observa fácilmente que cumple con las especificaciones de caudal, también los hace con las especificaciones de viscosidad. La potencia consumida es poco más de 3 kW.

Para la línea 8, que es el paso de las termo-batidoras al decanter, se empleara la misma bomba, pues el caudal es el mismo.

Para la línea 11 se emplearán dos bombas, pues en el catálogo, no hay ninguna que nos proporcione los 500 l/min necesarios. La bomba seleccionada de la marca “Trief”, y el modelo 500. Con la siguiente curva de equilibrio.

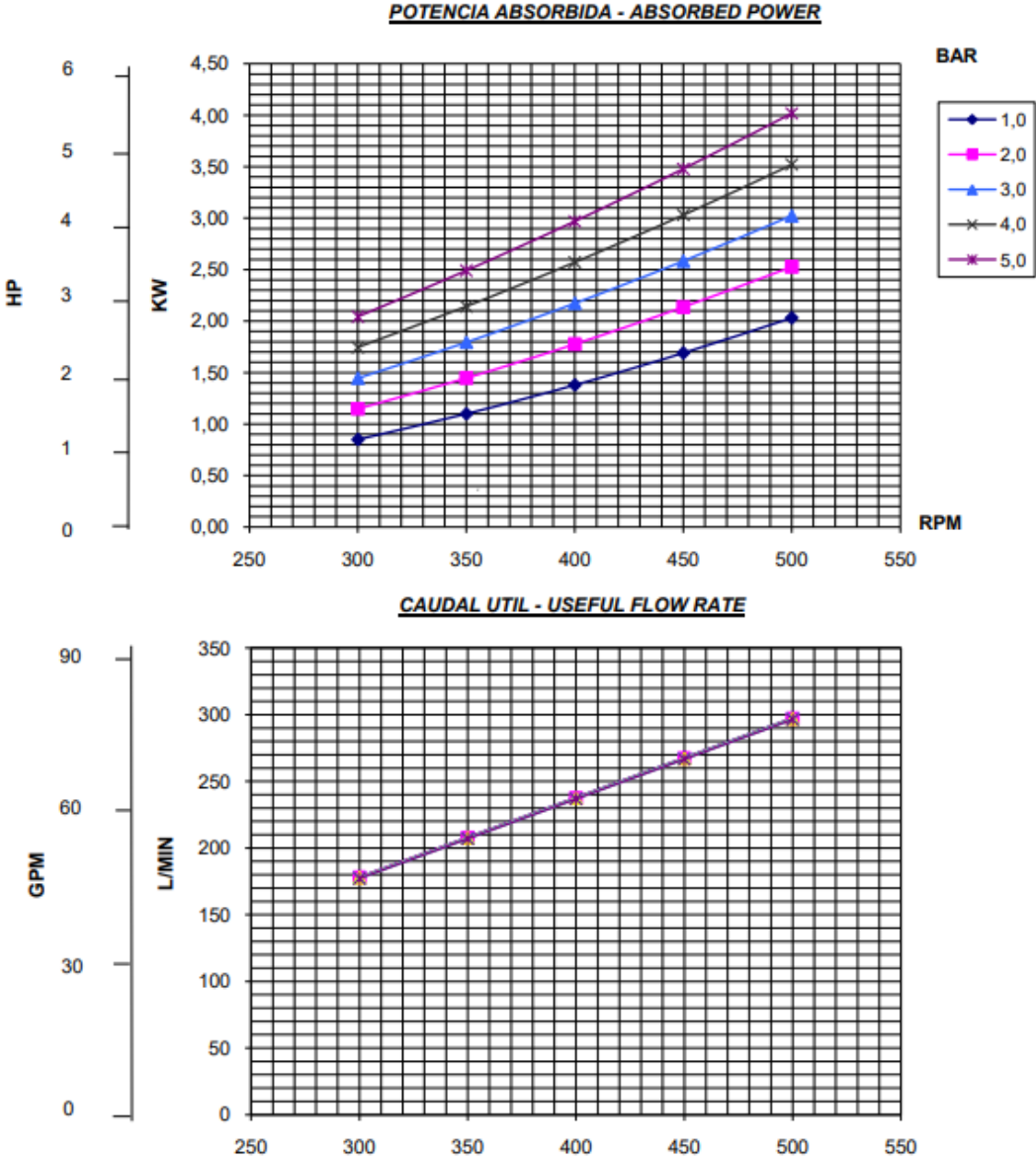
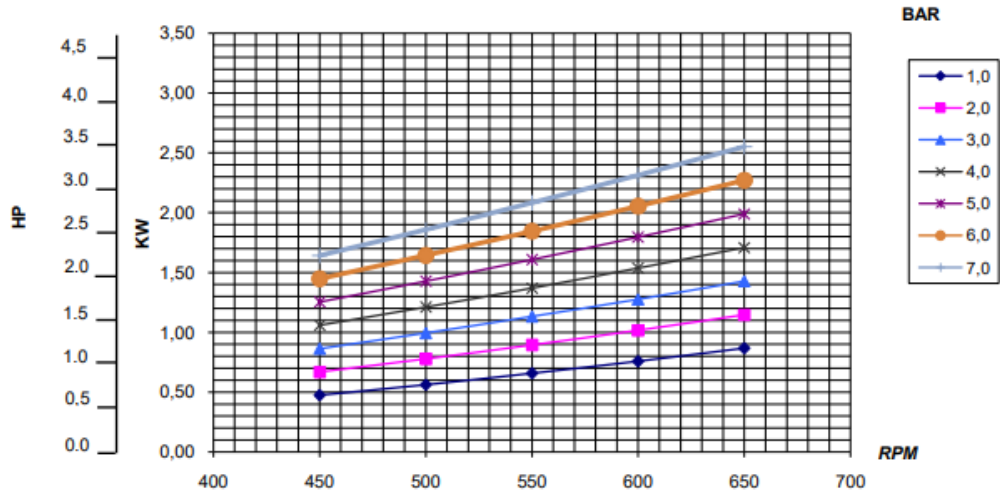


Figura 38: Curvas características de las bombas

Para las líneas 9 y 12, se emplearán bombas centrífugas, pues la viscosidad del aceite es inferior. El caudal necesario es de 200 l/min aproximadamente en ambas líneas, por lo que se emplearan dos bombas centrífugas, de la marca “Trief” y el modelo de las series BAL, 400. A continuación, se muestra sus curvas características.

**MODELO-MODEL**  
**BAL1-1/2-2R**

**POTENCIA ABSORBIDA - ABSORBED POWER**



**CAUDAL UTIL - USEFUL FLOW RATE**

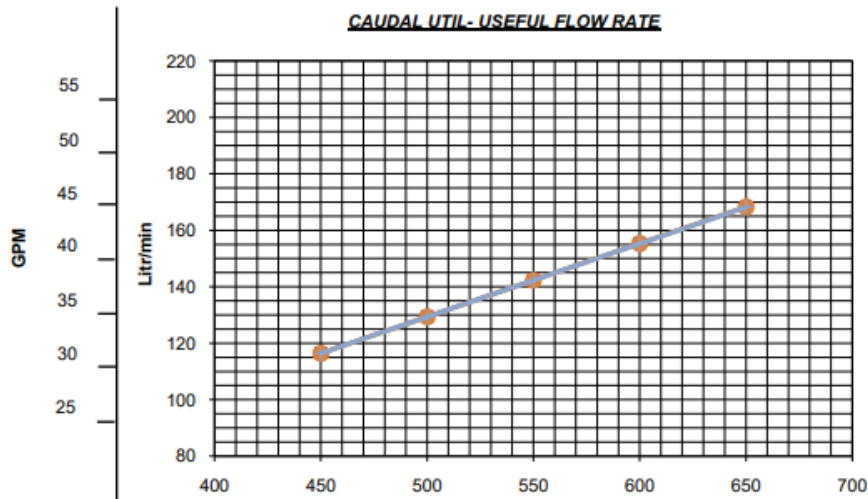


Figura 39: Curvas características de las bombas



### 5.3.16 Diseño de la caldera

Para el diseño de la caldera es necesario primero conocer la cantidad de energía necesaria en el proceso, así como en otras instalaciones.

Para la planta que se va a diseñar esa energía viene dada por el calentamiento de agua. Una parte de esa agua va a servicios como agua sanitaria y calefacción de la bodega. La temperatura que debe tener esta es de 60 °C. el caudal de agua necesario es de 15 m<sup>3</sup>/h.

Otra parte del agua es utilizada en el proceso, mas concretamente en las termo-batidoras, que necesitan un caudal de 20 m<sup>3</sup>/h. La temperatura optima es de 35 °C, como se puede observar en las características de las termo batidoras.

Así pues, el cálculo de las necesidades energéticas se reduce a la siguiente ecuación:

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

- Q es el calor necesario en kcal/h
- m es el caudal de agua necesario en kg/h
- C<sub>p</sub> es el poder calorífico del agua en kcal/(kg \* K)
- ΔT es el incremento sufrido por la temperatura del agua en K.

Por tanto, el dimensionado de la caldera queda:

$$Q_1 = 20.000 \frac{kg}{h} * 1 \frac{kcal}{kg * K} * (35 - 25) K = 200.000 \frac{kcal}{h}$$

$$Q_2 = 15.000 \frac{kg}{h} * 1 \frac{kcal}{kg * K} * (60 - 25) K = 525.000 \frac{kcal}{h}$$

El total de calor necesario de la caldera es de:

$$Q_T = 200.000 + 525.000 = 725.000 \frac{kcal}{h} * 0.0012 \frac{kW}{kcal} = 870 kW$$

Un aspecto importante del diseño de la caldera es el combustible que se va a emplear. El hueso de aceituna es excelente para su empleo en calderas de biomasa, por tratarse de una energía renovable y por el ahorro económico en la factura energética. El dióxido de carbono emitido en su combustión es el fijado por el olivo en su ciclo de cultivo, mientras los combustibles fósiles incrementan el nivel de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Comparando el poder calorífico inferior, PCI, del hueso de aceituna (4,70 kWh/kilo) y del gasóleo de calefacción (9,95 kWh/litro), y considerando los precios orientativos de hueso de aceituna (0,06 €/kilo) y del gasóleo de calefacción (0,90 €/litro) se obtiene los siguientes costes unitarios:

- Hueso de aceituna: 0,0127 €/kWh
- Gasóleo: 0,0906 €/kWh.

Comparando ambos valores, el kWh de poder calorífico del hueso de aceituna es aproximadamente 7 más barato que el kWh del gasóleo de calefacción

## 5.4 Diseño de un Sistema de control

Una vez diseñada la almazara de aceite, se va a presentar un sistema de control por medio del cual se obtenga una mayor automatización de la planta.

En primer lugar, es necesario un habitáculo con un panel de control, en el cual le aparezca el estado de todas las variables del proceso. Todas estas se van a presentar en el siguiente apartado.

### 5.4.1 Pesaje

La aceituna llega al pesaje una vez se ha producido la limpieza y despalillado de la misma. La balanza automática envía a nuestro panel de control la cantidad de aceituna que se esta almacenando. De esta forma se obtienen un control sencillo y eficaz de la cantidad de producto neto que entra.

Es muy importante este pesaje pues, la cantidad de aceituna que llega a las tolvas de recepción de la almazara no es la que se debe tener en cuenta a la hora de hacer los cálculos. La aceituna proviene del campo con una gran cantidad de tierra, hojas y suciedad en general, elementos que contribuyen a aumentar el peso, pero que no se utilizan posteriormente en ninguna parte del proceso.

Una vez pesada la aceituna esta avanza por medio de unas cintas transportadoras hasta un distribuidor aéreo giratorio.

La función de este elemento es dirigir la aceituna hasta una tolva determinada, esto se debe a que la aceituna puede ser de muchos tipos, los cuales hacen que el tiempo de batido necesario sea mayor en unos casos que en otros, que la cantidad de agua necesaria varíe... por ello es conveniente almacenar las aceitunas del mismo tipo en una misma tolva o a poder ser en tolvas contiguas de forma que cuando se opere con un solo tipo de aceituna y no se mezclen varios, obteniendo así un aceite con las características bien definidas.

El distribuidor aéreo giratorio se controlará desde el panel de control de forma que pueda virar 360°.



Figura 40: Distribuidor aero-giratorio

## 5.4.2 Control de llenado de las tolvas de almacenamiento.

Es necesario conocer el nivel de llenado de las tolvas de almacenamiento para que en ningún caso rebose. Para ello se va a utilizar unos medidores de nivel colocados en puntos fijos. Existe también la posibilidad del control de nivel de forma continua, es decir, conocer en todo momento la altura de la carga en la tolva, pero se considera innecesario en este caso.

Se van a utilizar indicadores rotatorios de nivel, colocados en puntos que se consideren máximos, para que la aceituna no supere la capacidad de la tolva y mínimo para que no se accionen los tornillos sin fin de forma innecesaria.

Una vez alcanzado el punto máximo el distribuidor giratorio comenzara a direccionar las aceitunas a otra tolva que no se halle al máximo de llenado.



Figura 41: Indicadores de llenado

Los indicadores seleccionados son de la marca “wam”.

Tan pronto que el nivel material alcanza la paleta de medición, la rotación está bloqueada. Cuando el nivel del material bajo por debajo del radio de la paleta, la rotación empieza a activar otros componentes del sistema.

### Características

- Diseño multi-voltaje
- Todas las piezas de contacto fabricadas en acero inoxidable
- Opciones de alta o baja temperatura del proceso
- Varias conexiones de proceso
- Certificación ATEX

### Ventajas

- Fácil de instalar
- Económico
- Medición fiable del nivel de sólidos a granel
- Amplia gama de paletas de medición, adecuadas para todas las densidades

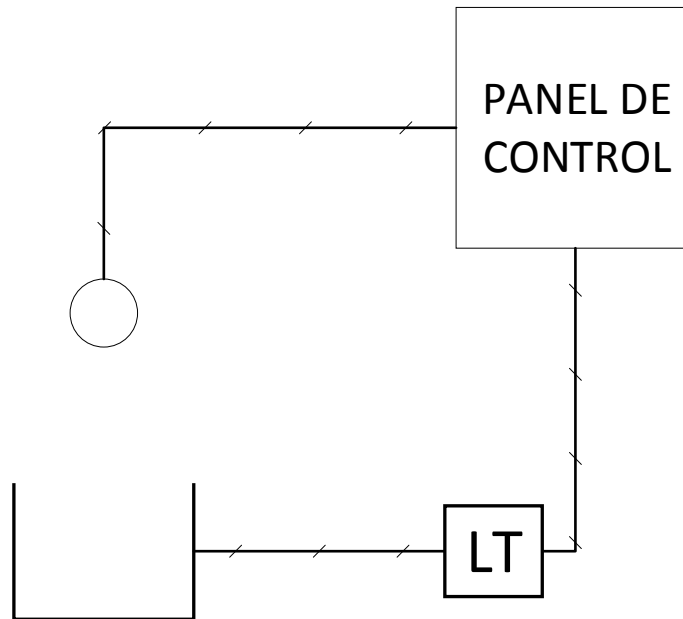


Figura 42: Esquema de control del llenado de las tolvas de almacenamiento

En la figura 42 se muestra un esquema de cómo quedaría el control de nivel de los tanques. El círculo representa al distribuidor giratorio. Se mide el nivel y se envía al panel de control por medio de una señal eléctrica, este lo convierte y el operario gira el distribuidor de forma que este direcciona la aceituna hacia otro tanque.

### 5.4.3 Control de los tornillos sin fin

Para transportar las aceitunas de las tolvas de almacenamiento a los molinos de martillos se emplean unos tornillos sin fin que se accionan desde el panel de control.

Se produce la abertura del orificio de la tolva de forma que esta deja caer la aceituna.

Todos estos procesos se deben realizar de forma manual desde el panel de control ya que generalmente la aceituna suele ser de distintos tipos y se intenta no mezclar.

#### 5.4.4 Control de caudal de pasta y de agua de las termo-batidoras

A las termo-batidoras hay que introducirle una cantidad determinada de agua en función de la cantidad de masa de aceituna que posea, además esta agua debe estar al menos a 35°C.

Por tanto, se debe realizar un control sobre el caudal de las tuberías que transportan masa de aceituna, para saber la cantidad de agua necesaria. También hay que medir la temperatura del agua para aumentar la cantidad de combustible en caso de que fuera necesario.

Para medir el caudal de la tubería de pasta de aceituna se va a emplear un caudalímetro electromagnético. Los caudalímetros electromagnéticos son dispositivos que generan un campo magnético en el interior de la cañería para así determinar la velocidad del fluido en su interior. Debido a que carece de partes móviles, mecánicas u obstrucciones, se convierten en equipos excesivamente flexibles a la hora de medir fluidos para un amplio rango de condiciones ya se de presión, temperatura, abrasividad y/o viscosidad. La única exigencia que presenta esta tecnología, es que el fluido a medir debe presentar una cierta conductividad.



Figura 43: Caudalímetro electromagnético

El caudalímetro seleccionado de la marca “flowmeet”, serie ES.

Las características son las siguientes:

- Material de cuerpo y bridas: Acero inoxidable.
- Error menor a 0.5% para el rango de 0.5 m/s a 15 m/s y un error menor a 0.25% para el rango de 0.5 m/s a 10 m/s
- Salidas: 4-20 mA.
- Alarma bajo caudal y alarma alto caudal.
- Salida de pulsos / Salida de frecuencia.
- Indicación de caudal en ambas direcciones.

Se va a emplear además un caudalímetro para la línea de agua, el mismo que el anterior.

Además, se necesita un sensor de temperatura en el interior de las termo-batidoras de forma que controle que la mezcla esta a la temperatura necesaria.



Figura 44: Sensor de temperatura

Para ello se empleará un termopar. Funcionan mediante un principio de generación de una corriente entre dos metales diferentes unidos que tienen diferente comportamiento eléctrico en función de la temperatura. La señal generada se procesa y da lugar a una medición de temperatura. Son equipos sencillos, baratos y con una precisión suficiente para su uso en edificación. Sin embargo, tienen una respuesta lenta, aunque suficiente para el caso a tratar.

El control, por tanto, queda de la siguiente manera.

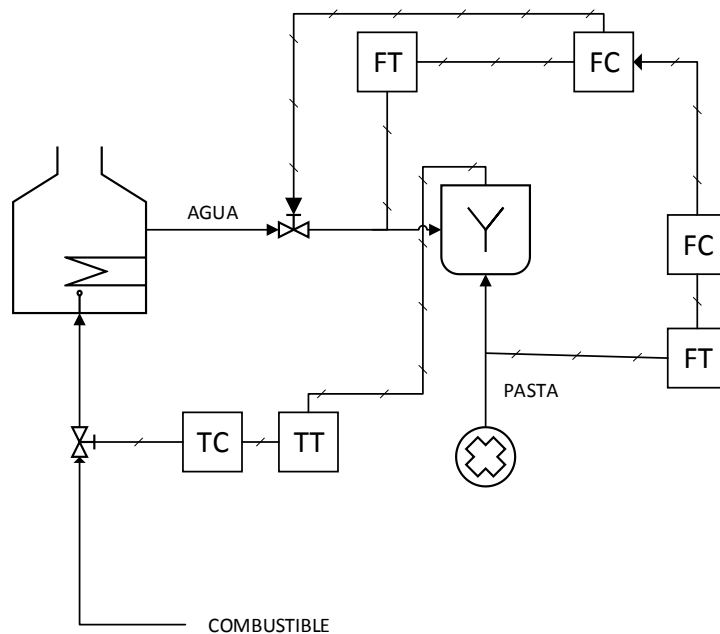


Figura 45: Diagrama de control del agua caliente

En la figura 45 se muestra cómo se controla, la temperatura de las termo-batidoras y el caudal de agua. En primer lugar, se mide el caudal de pasta de aceituna, como la cantidad de agua que se debe introducir es proporcional a la de pasta de aceituna se envía el dato al controlador, este lo reenvía al controlador de caudal de agua, al cual le llega la medida de agua a través del transmisor de caudal instalado en la línea de agua.

Con estos dos datos puede variar la apertura de la válvula de agua en función de las exigencias determinadas.

A partir del transmisor de temperatura instalado en la termo-batidora, se mide la temperatura en su interior, esta le llega al controlador el cual varía la valvula de combustible en función de las necesidades.



### 5.4.5 Control del caudal de recirculación en las centrifugadoras verticales

Para el control del caudal de recirculación se emplearán medidores de composición.

De esta forma, se medirá a la salida de las centrifugadoras verticales, la composición del fluido que se dirige a los bidones de decantación. Si la cantidad de agua es elevada y se puede considerar que el aceite está demasiado sucio como para no proporcionar la pureza seleccionada el controlador de composición actúa sobre una válvula de tres vías de forma que la corriente vuelve a recircularse y a entrar en las centrifugadoras verticales, donde se repite el proceso de separación.

Con esta recirculación se busca dotar al aceite de una calidad superior y permite que se halle la composición del fluido dentro de los parámetros marcados al principio del proceso.

A continuación, se muestra una válvula de tres vías.



Figura 46: Valvula de tres vías

En la figura 47, se muestra un esquema del lazo de control.

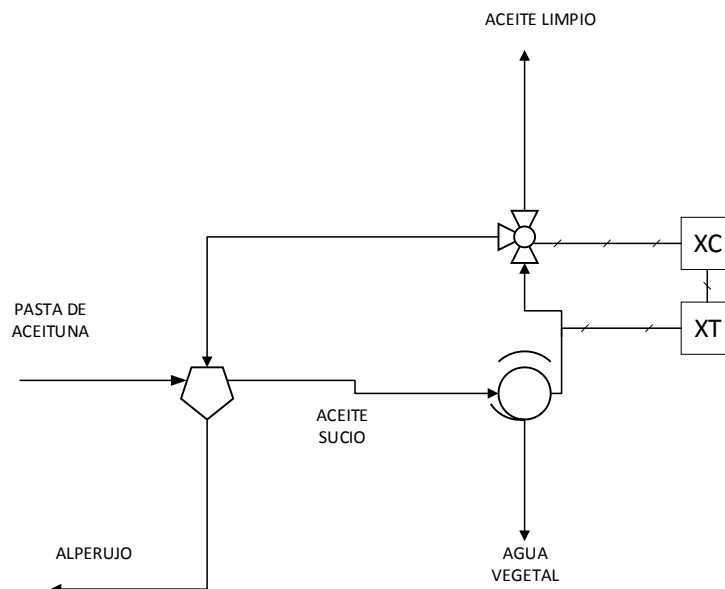


Figura 47: Esquema de control de la recirculación

En la línea de salida de la centrifugadora vertical se mide la composición del aceite, esta señal es enviada al controlador de composición que lo compara con el “set point”, en caso que la cantidad de agua exceda o supere el “set point”, el controlador actuará abriendo la válvula de tres vías de forma que el aceite aun sucio sea recirculado al decanter, para una nueva separación de sus componentes. En caso contrario el controlador permitirá el paso del aceite limpio el cual que será direccionado a la bodega.

### 5.4.6 Control de la bodega

El control de la bodega es muy parecido al control de las tolvas de almacenamiento. El aceite ya limpio es transportado por las tuberías hasta uno de los depósitos que no esté completo, donde se almacena hasta el momento de su expedición.

Para conocer el estado de los tanques se utilizan medidores de nivel en continuo, los cuales permiten conocer en todo momento el nivel del tanque.

Estos medidores envían la señal al controlador de nivel el cual, se encarga de abrir o de cerrar las válvulas para que el aceite llegue a los tanques donde se pueda almacenar.

Los medidores en continuo, seleccionados son de la marca “omega”, en concreto son transmisores de nivel ultrasónico.



Figura 47: Transmisor de nivel

Estos sensores incorporan un procesador de señal analógica, un microprocesador, decimal codificado en binario (BCD) switches de rango, y un circuito de salida del controlador. Transmite los impulsos a una puerta de señal de la ruta del microprocesador a través del procesador de la señal analógica del sensor, que envía un haz ultrasónico a la superficie del líquido. El sensor de nivel detecta el eco de la superficie y la envía de vuelta al microprocesador para una representación digital de la distancia entre el sensor y el nivel de la superficie. A través de una actualización constante de las señales recibidas, el microprocesador calcula los valores promedios para medir el nivel de líquido.

Con un sensor de nivel continuo, el microprocesador convierte el valor promediado para una señal analógica de 4 a 20 mA lineal con el nivel de líquido. Cuando el eco de nivel no vuelve al sensor en 8 segundos, la señal de salida del sistema cae por debajo de 4 mA, lo que indica una condición de bajo nivel o de tubo vacío. Con un sensor de punto, el microprocesador compara el valor medio con el ajuste del interruptor BCD y energiza un relé de salida, ya sea para la indicación de nivel alto o bajo. Una pérdida de señal superior a 8 segundos, desactiva el relé y restaura su estado original. La electrónica incorpora un retraso de medio segundo que minimiza los efectos de superficie debidos a la turbulencia.

Las características son las siguientes:

- Simple, de rápida instalación con calibración con pulsador y pantalla LCD
- Anchura mínima del haz de 7,6 cm (3") para aplicaciones en espacios reducidos
- Inteligencia a prueba de fallos con retroalimentación de diagnóstico para una fácil solución de problemas
- Rango: 30 cm a 10 m (12" a 32,8')
- Precisión:  $\pm 0,2\%$  de intervalo
- Anchura del haz: 7,6 cm (3") de diámetro.
- Tensión de suministro: 12 a 28 Vdc
- Resistencia del bucle: 500  $\Omega$  @ 24 Vdc
- Salida de señal: 4 a 20 mA, 2 hilos
- Inversión de señal: 4 a 20 mA o 20 a 4 mA
- Temperatura de proceso: -20 a 60 °C (-4 a 140 °F)
- Temperatura de los dispositivos electrónicos: -40 a 71 °C (-40 a 160 °F)

El lazo de control anteriormente explicado se puede ver representado en la figura 49. El sensor de nivel del tanque envía la señal al controlador el cual se encarga de abrir la válvula de tres vías por el recorrido que la envía al depósito, o de abrir la válvula por el recorrido que le permite continuar hasta un tanque vacío.

El aceite continúa su recorrido en el caso de llenado del tanque hacia el siguiente donde se vuelve a realizar el mismo proceso, así hasta llegar a un tanque vacío donde se vierte.

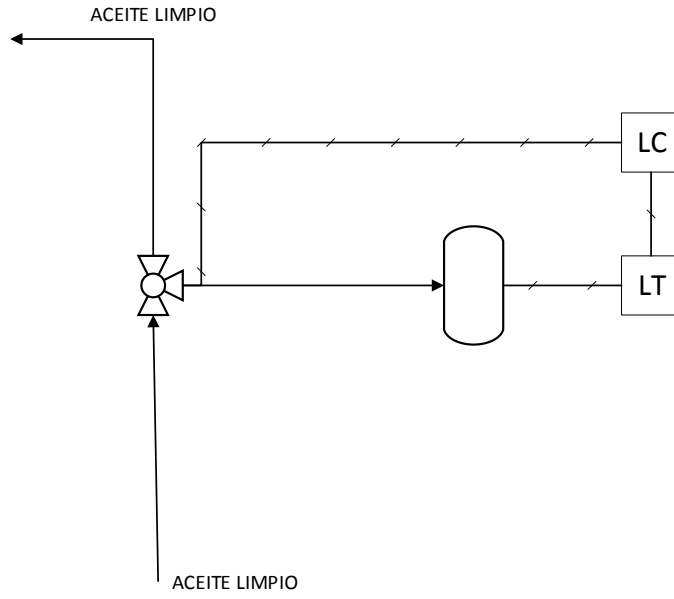


Figura 48: Esquema de control de la bodega

2

# 6 Dimensionado de auxiliares

---

## 6.1 Reglamento de equipos a presión

La presente Instrucción Técnica Complementaria (ITC) se aplica a la instalación, reparación e inspecciones periódicas de calderas y sus elementos asociados, contemplados en el Reglamento de equipos a presión.

### 6.1.1 Definición.

Se entiende como caldera, todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

### 6.1.2 Clasificación de la caldera

La presente caldera se considera de primera clase debido a las especificaciones de operación de la misma.

### 6.1.3 Instalación

Las instalaciones deberán ser realizadas por empresas instaladoras. La instalación se considera de menor riesgo, por lo que no requerirá la presentación de proyecto de instalación, debiendo presentarse, una memoria técnica de la empresa instaladora, en la que se incluya:

- Plano de situación de la instalación o del establecimiento
- Plano de situación de la sala de calderas en el establecimiento.
- Plano de la sala de calderas.
- Descripción y características de los equipos consumidores.

En nuestro caso la instalación será realizada por el fabricante.

### **6.1.4 Prescripciones de seguridad de la instalación.**

Deberán adoptarse las medidas de seguridad, de rendimiento o medioambientales indicadas en las correspondientes disposiciones específicas. En nuestro caso al ser caldera de biomasa las emisiones ambientales no suponen un problema.

Las calderas deberán situarse en una sala o recinto, que cumpla los siguientes requisitos:

- Ser de dimensiones suficientes para que todas las operaciones de mantenimiento, inspección y control puedan efectuarse en condiciones seguras
- Deberán estar permanentemente ventiladas, con llegada continua de aire tanto para su renovación como para la combustión, y cumplir con los requisitos específicos en relación con el combustible empleado.
- Toda sala o recinto de calderas deberá estar totalmente limpia y libre de polvo, gases o vapores inflamables.
- En la sala o recinto de calderas se prohíbe todo trabajo no relacionado con los aparatos contenidos en la misma, y en todos los accesos existirá un cartel con la prohibición expresa de entrada de personal ajeno al servicio de las calderas.
- Deberá disponerse del Manual de funcionamiento de las calderas allí instaladas y de los procedimientos de actuación en caso de activación de las seguridades. En lugar fácilmente visible de la sala o recinto de calderas, se colocará un cuadro con las instrucciones para casos de emergencia.

La caldera se colocará por tanto en un espacio con bastante ventilación y separada de la parte principal del proceso

### **6.1.5 Sistemas de vigilancia de las calderas.**

Las calderas incluidas en el ámbito de aplicación de la presente ITC dispondrán del sistema de vigilancia indicado por el fabricante en las instrucciones de funcionamiento. El operador de la caldera deberá realizar las comprobaciones adecuadas de los controles, elementos de seguridad y de la calidad del agua de alimentación para asegurarse del buen estado de la caldera.

- Vigilancia directa. El operador de la caldera debe asegurar su presencia en la sala de calderas o en sala con repetición de las señales de seguridades, para poder actuar de forma inmediata en caso de anomalía.
- Vigilancia indirecta. Los intervalos de comprobación de los sistemas de control y seguridad para que el funcionamiento de la instalación sea seguro serán indicados por el fabricante de la caldera. El sistema de vigilancia de la caldera estará relacionado con los dispositivos de control de los que disponga.

- Agua de alimentación y agua de la caldera. Para todas las calderas de vapor y de agua sobrecalentada deberá existir un tratamiento de agua eficiente que asegure la calidad de la misma. Se considera adecuado el indicado en las normas UNE-EN 12953-10 y 12952-12.
- Será obligación del usuario mantener el agua de las calderas, como mínimo, dentro de las especificaciones de las normas citadas en el párrafo anterior.

La vigilancia será realizada por el operario a cargo de la caldera además de los sistemas de seguridad pertinentes

### **6.1.6 Inspecciones periódicas**

Todas las calderas incluidas en la presente ITC deberán ser inspeccionadas periódicamente según lo indicado en su anexo I de la presente ITC, teniendo en cuenta que las inspecciones de nivel A y B podrán ser realizadas por el fabricante.

Además de las inspecciones periódicas, el usuario deberá tener en cuenta las informaciones e instrucciones facilitadas por el fabricante del equipo o conjunto, y realizar los controles que se indiquen por el mismo.

Deberán tenerse en cuenta las condiciones indicadas en la norma UNE 9-103. La presente caldera posee el nivel A. La periodicidad de estas inspecciones será anual.

La inspección incluirá además las siguientes comprobaciones:

- Existencia y actualización de la documentación correspondiente al mantenimiento y operación de la caldera, así como de la calidad del agua en las calderas de vapor y agua sobrecalentada.
- Limpieza e inspección visual del circuito de humos y de las partes sometidas a presión. Para realizar estas operaciones, deberá estar la caldera parada y ser accesibles las partes sometidas a presión, no siendo necesario retirar el calorifugado.
- Funcionamiento de los elementos de operación y de las seguridades de la caldera, provocando su intervención.
- Mantenimiento de las condiciones de emplazamiento de la caldera y de las instrucciones de seguridad.
- Estanquidad del circuito de gases.
- Inspección visual de las tuberías y equipos que utilizan el fluido de la caldera.
- De las actuaciones realizadas se dejará constancia escrita

### **6.1.7 Reparaciones**

Las reparaciones de las partes sometidas a presión de los equipos o conjuntos comprendidos en la presente ITC deberán realizarse por empresas reparadoras debidamente autorizadas.



## **6.2 Reglamento PCI: Protección contra incendios**

El Real Decreto 393/2007 es la norma básica de autoprotección contra incendios.

### **6.2.1 Desarrollo de la guía técnica.**

Las condiciones de entorno y las condiciones urbanísticas que corresponden al emplazamiento de un edificio o establecimiento industrial constituyen un aspecto importante a tener en cuenta para el desarrollo de la seguridad contra incendios.

Fundamentalmente son elementos o factores de riesgo a considerar:

- Condiciones de accesibilidad: es necesario disponer de “viales de aproximación” adecuados que garanticen en todo momento el acceso de los vehículos de emergencia. Anchura mínima libre de 3,5 m. Altura mínima libre o gálibo de 4,5 m. En los tramos curvos, la anchura libre para circulación será de 7,20 m.
- Hidrante de incendio: Es necesario que quede garantizado el suministro de agua al servicio de extinción de incendios y salvamento en las proximidades de todo edificio, en previsión de una posible intervención. Para ello en entornos urbanos se requiere con generalidad la instalación de hidrantes de incendios, normalmente enterrados, aunque también existen instalados hidrantes de columna con la misma finalidad. Se trata en cualquier caso de una boca conectada a la red general de suministro de agua que hace posible el abastecimiento y carga de los vehículos de bomberos en un entorno próximo. Deberán ser fácilmente accesibles para los vehículos del servicio de extinción de incendios y salvamento. Estar debidamente señalizados para su fácil localización. La distancia entre ellos medida por espacios públicos debe ser inferior a 100 m.
- Riesgos exteriores: Cuando se dan circunstancias de riesgos exteriores, el emplazamiento o localización del edificio o establecimiento industrial debe prever la protección adecuada frente a estos riesgos. Es el caso del riesgo de incendio forestal y de los riesgos que puedan presentar los establecimientos industriales u otros edificios próximos.

### **6.2.2 Riesgos inherentes a los establecimientos industriales**

Los riesgos inherentes a los establecimientos industriales vienen regulados en el Real Decreto 2267/2004. El establecimiento donde se desarrolla la actividad es tipo E.

Tipo D: El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede tener cubierta más del 50% de la superficie ocupada.

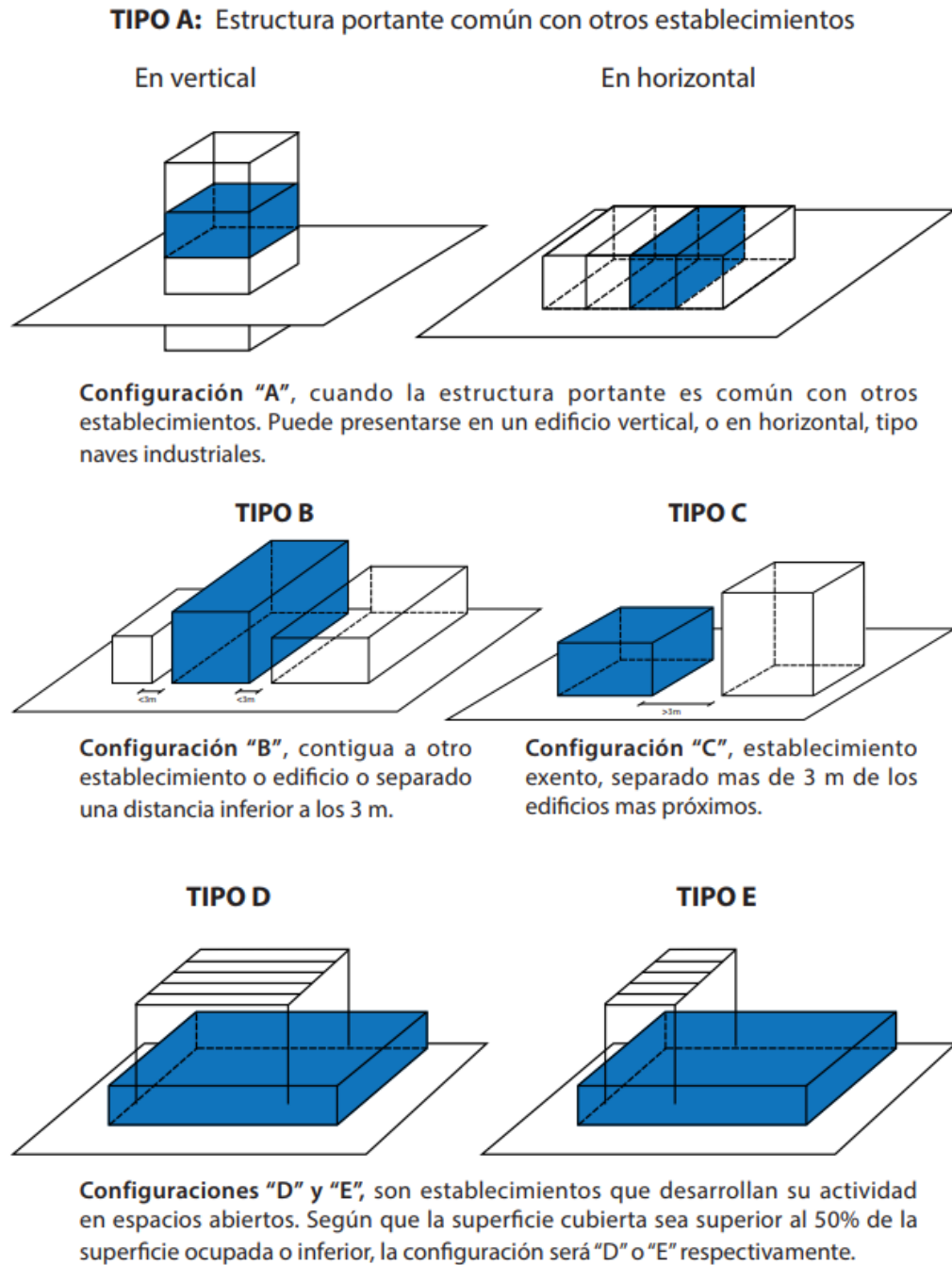


Figura 49: Tipología de los establecimientos industriales

Cada sector de incendio tiene un nivel de riesgo intrínseco, que es un índice que contempla conjuntamente la peligrosidad de un eventual incendio y la probabilidad de que ocurra en dicho sector. Se distinguen, conforme al Reglamento, sectores con nivel de riesgo bajo, medio y alto.

Configuración	Riesgo intrínseco					
	Bajo		Medio		Alto	
	b/rasante	s/rasante	b/rasante	s/rasante	b/rasante	s/rasante
Tipo A		Según que caso (2)	No permitido	Según que caso (1)(2)	No permitido	No permitido
Tipo B			Según que caso (4)	Según que caso (4)	Según que caso (4)(5)	Según que caso (3)(4)(5)
Tipo C	No hay restricciones					
Tipo D-E	No hay restricciones					

Figura 50: Tipo de riesgo intrínseco en función de la tipología del establecimiento industrial  
 El riesgo del establecimiento industrial se considera bajo debido a que la carga de fuego ponderada es menor de 850 MJ/m<sup>2</sup>.

### 6.2.3 Resistencia al fuego (EI)

Para los establecimientos de tipo D, no se requiere.

Configuración	Riesgo BAJO		Riesgo MEDIO		Riesgo ALTO	
	sótanos	sobre rasante	sótanos	sobre rasante	sótanos	sobre rasante
Tipo "A"	EF-120	EF-90	NA	EF-120	NA	NA
Tipo "B"	EF-90	EF-60	EF-120	EF-90	EF-180	EF-120
Tipo "C"	EF-60	EF-90	EF-90	EF-60	EF-120	EF-90
Tipos "D" y "E"	No se requiere					

\* NA = No admisible

Figura 51: resistencia al fuego exigida en función de la tipología de la industria

## 6.2.4 Condiciones de evacuación para Configuraciones tipos “D”

Las disposiciones en materia de evacuación y señalización en los establecimientos industriales que estén ubicados en configuraciones de tipo D y E serán conformes a lo dispuesto en el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, y en el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, y cumplirán, además, los requisitos siguientes:

- Anchura de la franja perimetral: la altura de la pila (almacenamiento) y como mínimo 5 m.
- Anchura para caminos de acceso de emergencia: 4,5 m.
- Separación máxima entre caminos de emergencia: 65 m.
- Anchura mínima de pasillos entre pilas: 1,5 m.

## 6.2.5 Colocación de extintores

Se sigue el criterio de la colocación de 1 extintor cada 557 m<sup>2</sup>, en este caso el establecimiento industrial posee una superficie de 7500 m<sup>2</sup>, por lo que se colocaran un total de 14 extintores del tipo 2-A.

## 6.2.6 Colocación de hidrantes

Para los establecimientos industriales, el criterio viene establecido en el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RD 2267/2004, de 3 de diciembre)

Configuración	Nivel de riesgo intrínseco		
	Bajo	Medio	Alto
	Requieren hidrantes exteriores en los siguientes casos		
Tipo A	Si S > 1.000 m <sup>2</sup>	Si S > 300 m <sup>2</sup>	No admisible
Tipo B	Si S > 3.500 m <sup>2</sup>	Si S > 2.500 m <sup>2</sup>	Si S > 1.000 m <sup>2</sup>
Tipo C	No se requiere	Si S > 3.500 m <sup>2</sup>	Si S > 2.000 m <sup>2</sup>
Tipos D y E	Si S > 15.000 m <sup>2</sup>	Si S > 5.000 m <sup>2</sup>	Si S > 5.000 m <sup>2</sup>

Figura 52: Criterio de colocación de hidrantes

Como la superficie es 7500 m<sup>2</sup> del tipo D, el nivel de riesgo intrínseco bajo, no requiere hidrantes

### 6.3 Análisis eléctrico de la planta

La evaluación de los consumos energéticos de la planta se realiza por medio de la suma de las potencias individuales de los equipos.

Para ello se van a mostrar las tablas de todos los equipos implicados de forma ordenada según aparezcan en el proceso.

En primer lugar, se muestran los consumos de los equipos de recepción y limpieza.

Nº equipos	Descripción	P (kW)	Ptotal (kW)
3	Tolvas de recepción	0,37	1,11
3	Cinta tolva-limpiadora	3,582	10,746
3	Maquina limpiadora y despalilladora	39,35	118,05
3	Cinta limpiadora-balanza	3,84	11,52
3	Balanza	0,37	1,11
3	Cinta balanza-aero	5,29	15,87
3	distribuidor aero	0,74	2,22
24	Tanques de almacenamiento	0,5	12

Tabla 19: Consumos de recepción y limpieza

A continuación, se muestran los equipos de molienda.

Nº equipos	Descripción	P (kW)	Ptotal (kW)
18	Tornillos sin fin (tanques)	2,97	53,46
6	Tornillos sin fin (martillos)	4,36	26,16
6	tritadora de martillos	44,13	264,78

Tabla 20: consumos de molienda

En la siguiente tabla se muestran los consumos de los equipos referentes a la extracción.

Nº equipos	Descripción	P (kW)	Ptotal (kW)
3	Termo-batidora	33	99
3	Decanter	55	165
3	Centrifugadora horizontal	22	66

Tabla 21: Consumos de extracción

En la tabla 22 se muestran los consumos referentes a la extracción de subproductos.

Nº equipos	Descripción	P (kW)	Ptotal (kW)
3	Separador pulpa-hueso	55	165
10	Tolvas pulpa-hueso	0,37	3,7

Tabla 22: Consumos de subproductos

Por ultimo se muestran los consumos de trasiego de fluidos.

Nº equipos	Descripción	P (kW)	Ptotal (kW)
2	Bomba de pistón	3	6
2	Bomba de pistón	1,5	3
4	Bombas centrifugas	0,7	2,8

Tabla 23: Consumos debidos al trasiego de fluidos

La planta tiene un consumo total de energía eléctrica de 1027.53 kW, el cual será alimentado a través de un transformador de 200 kVA. La planta estará alimentada en baja tensión 380/220 V.

# 7 Análisis medioambiental

---

## 7.1.1 Introducción

Se puede definir la huella de carbono, como la emisión de gases de efecto invernadero de forma directa o indirecta de un individuo, una organización, un evento o un producto. En este apartado se va a calcular la huella de carbono de la almazara de aceite.

En la actualidad se están tomando una serie de medidas legislativas con el único fin de disminuir la huella de carbono en muchos ámbitos de la vida, tanto industrial, como a nivel usuario. Las grandes empresas van a sufrir importantes multas económicas si no son capaces de respetar y adecuarse a la nueva normativa, la cual va en busca de disminuir las emisiones contaminantes a la atmosfera.

Todo ello en un ambiente en el que cada vez cobran más fuerza los vehículos eléctricos y las energías renovables.

Sin lugar a duda un conocimiento amplio sobre el método de calculo de la huella de carbono es un factor muy positivo y a tener en cuenta por las grandes, medianas y pequeñas empresas con emisiones contaminantes a la atmosfera. Cada vez es más normal, la consulta a especialistas en captura de CO<sub>2</sub> con el objetivo de poder disminuir las ya mencionadas emisiones.

Para calcular la huella de carbono hay que tener en cuenta muchos factores. Para una almazara, que es el caso estudiado, hay que tener en valor no solo las emisiones de la caldera, el calculo comienza con la plantación de los olivos y sigue con una gran cantidad de variables que se detallaran más adelante una vez se presenten los resultados.

Una vez realizados los cálculos son muchas las empresas que buscan disminuir la huella de carbono, para ello existen una gran cantidad de posibilidades, a continuación, se van a presentar unas posibles soluciones, las cuales no abarcan la totalidad de las posibilidades.

Suele ser muy habitual reducir la huella a partir de captadores de CO<sub>2</sub>, cuyo objetivo no es otro que, por medio de una serie de filtros, captar las partículas de CO<sub>2</sub>. Otra opción es desarrollar un proyecto clima o compensar la huella de carbono, en el caso de que fuera imposible reducir la huella existente con la producción actual.

## 7.1.2 Cálculo de la huella de carbono

Para calcular la huella de carbono se ha utilizado un Excel, en el cual a partir de unos parámetros conocidos se calculan las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Se han tenido en cuenta desde el cultivo del olivo, hasta el consumo eléctrico, además de las emisiones de la caldera de biomasa, existente en la almazara, los fertilizantes utilizados y el estiércol.

A continuación, se representan los resultados obtenidos, así como una serie de graficas en las que se puede observar el impacto de cada uno de los parámetros a tener en cuenta.

Cabe destacar ciertos datos de interés, las hectáreas de olivo son un total de 800, obteniéndose un total de unas 50.000 t de aceituna, que son posteriormente transportadas a la planta.

Para los fertilizantes se ha tenido en cuenta la cantidad de nitrógeno, en kg, utilizado. En este caso era un 10% del fertilizante empleado y se utilizan 300 kg/ha. Posteriormente se ha calculado a partir del nitrógeno el carbono equivalente.

Se han tenido en cuenta las acciones propias de cuidado del cultivo, como son el laboreo, el abonado y el cosechado.

Por ultimo se ha calculado también el equivalente de carbono a partir de la energía eléctrica consumida en la planta y el consumo energético de la caldera de biomasa, la cual por ser considerada renovable no tiene emisiones de CO<sub>2</sub>.

El resultado obtenido es el siguiente:

- Tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea:

$$2,34224 \frac{t CO_2 eq}{ha}$$

- Tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente por año:

$$0.03748 \frac{t CO_2 eq}{año}$$

- Tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada másica de aceite producido:

$$0.0000041644 \frac{t CO_2 eq}{Tm aceite}$$



Se presentan a continuación unas gráficas, para observar los parámetros que mas influyen en las emisiones debidas al cultivo únicamente.

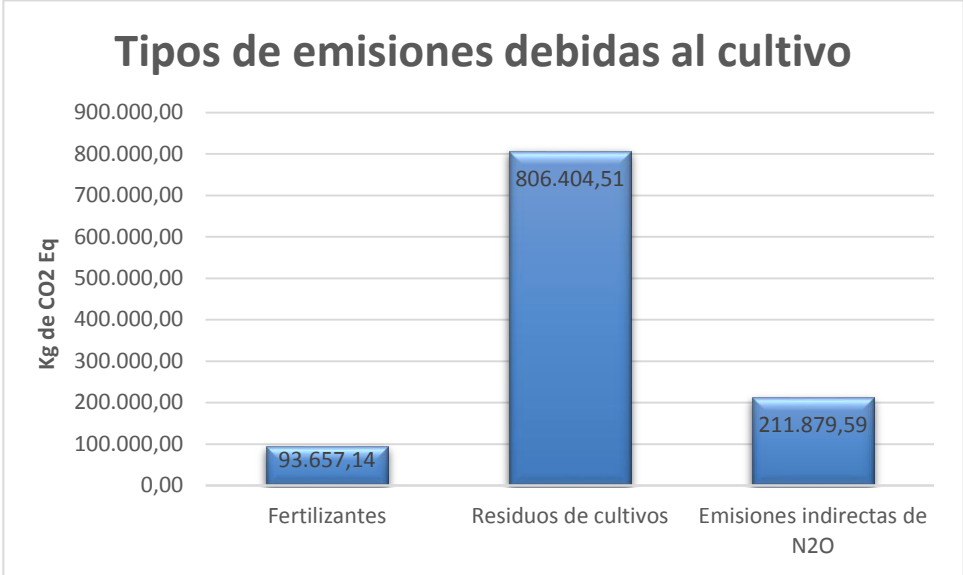


Figura 53: desglose de las emisiones debidas únicamente al cultivo del olivo. Diagrama de barras

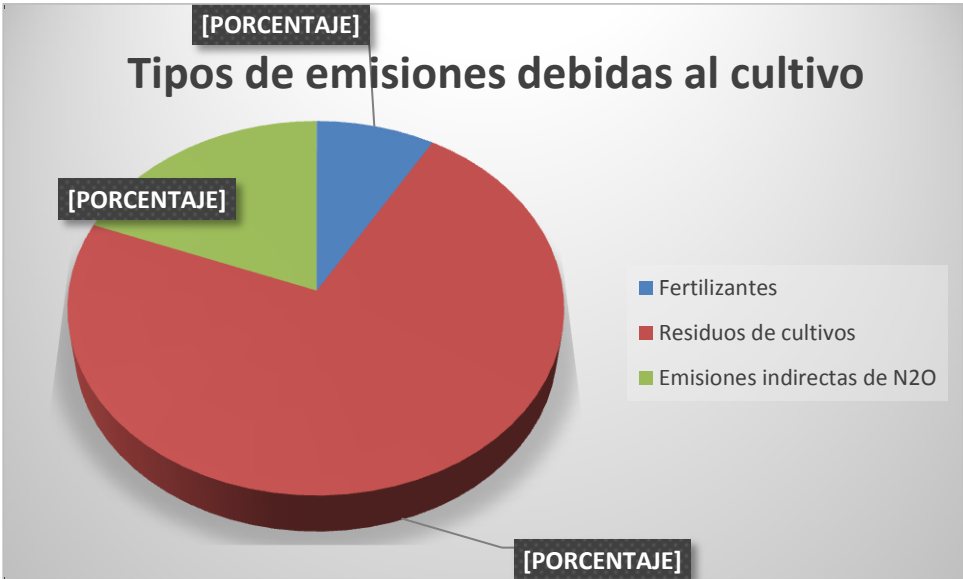


Figura 54: desglose de las emisiones debidas únicamente al cultivo del olivo. Diagrama de sectores

Analizando los resultados obtenidos se puede observar fácilmente que la mayor parte de las emisiones provienen de los residuos del olivo, con un total de 806.404,51 kg CO<sub>2</sub> equivalente. En menor medida, el segundo agente principal es la emisión indirecta de N<sub>2</sub>O, esta es debida a la lixiviación y escorrentía, las cuales emiten 202.513,87 kg CO<sub>2</sub> equivalente y a la deposición atmosférica que emite 9.365,71 kg CO<sub>2</sub> equivalente, por ultimo los fertilizantes sintéticos que envían a la atmosfera un total de 211.879,59 kg CO<sub>2</sub> equivalente.

A continuación, se representan todos los elementos que influyen en la huella de carbono.

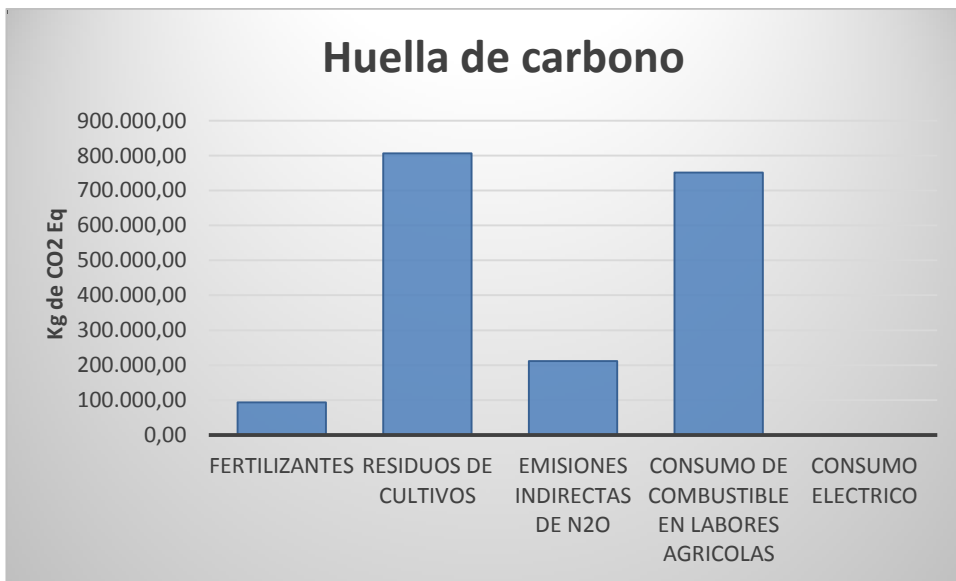


Figura 55: Desglose de las emisiones que conforman la huella de carbono. Diagrama de barras

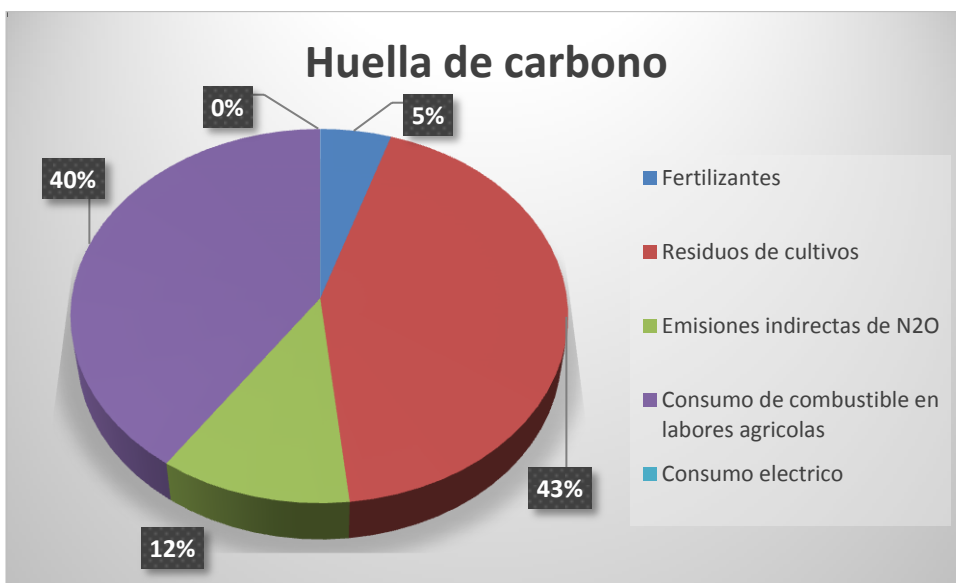


Figura 56: Desglose de las emisiones que conforman la huella de carbono. Diagrama de sectores

# 8 Presupuesto y análisis económico

---

## 8.1.1 Presupuestos

En este apartado se desglosará el presupuesto de la planta, para ello se mostrará el precio de los equipos, así como las estimaciones y cálculos realizados.

Finalmente, y por medio del uso del factor de Lang se calculará el coste total de la planta.

Para una parte de equipos se han realizado una serie de estimaciones económicas, las cuales van a ser detalladas a continuación, sin embargo, el coste de los equipos más específicos se ha obtenido gracias a las indicaciones de empresas especializadas.

La ecuación utilizada para estimar el coste de los equipos es:

$$\log_{10}(C) = K_1 + K_2 * \log_{10}(A) + K_3 * (\log_{10}(A))^2 \quad \text{Ecuación 21}$$

- C es el coste de un equipo a presión ambiental.
- $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  son unas constantes o parámetros característicos que varían en función del equipo a estimar. Se hallan en unos anexos de cálculos estandarizadas.
- A es la capacidad o parámetro del tamaño del equipo.

Los equipos de la planta para los que se ha podido emplear esta estimación son, las tolvas, de almacenamiento, recepción y alperujo-hueso de aceituna, los depósitos de almacenamiento de aceite de oliva, la caldera y por último las bombas.

### 8.1.2 Tolvas

A continuación, se presenta una tabla resumen, con el tipo de tolva, la cantidad, su volumen y su coste en dólares.

<b>Tipo</b>	<b>Volumen[A] (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (\$)</b>
<i>Recepción</i>	15.15	3	38327.45
<i>Almacenamiento</i>	114.58	8	44162
<i>Hueso de aceituna</i>	100.31	4	43082
<i>alperujo</i>	123.46	6	44844.98

Tabla 24: Resumen del coste

La suma del coste de todas las tolvas asciende a un total de 909674,88 \$.

### 8.1.3 Depósitos

A continuación, se presenta una tabla resumen, con la cantidad, su volumen y su coste en dólares.

<b>tipo</b>	<b>Volumen [A](m<sup>3</sup>)</b>	<b>cantidad</b>	<b>Precio (\$)</b>
<i>Almacenamiento</i>	155	50	47198
<i>Decantación</i>	50	6	34322

Tabla 25: Resumen del coste

La suma total del coste de los depósitos es de 2.565.832 \$

### 8.1.4 Caldera

A continuación, se presenta una tabla resumen, con la cantidad, su potencia y su coste en dólares.

<b>Tipo</b>	<b>Potencia [A](kW)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (\$)</b>
<i>Caldera</i>	870	1	34693.56

Tabla 26: Resumen del coste

La suma total del coste de la caldera es de 34693.56 \$

### 8.1.5 Bombas

A continuación, se presenta una tabla resumen, con el tipo de bomba, la cantidad, su potencia y su coste en dólares.

<i>Tipo</i>	<b>Potencia [A](kW)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (\$)</b>
<i>Pistón</i>	3	2	3751.86
<i>Pistón</i>	2	2	3394.45
<i>Centrifuga</i>	0.5	2	2437.82

Tabla 27: Resumen del coste

La suma total del coste de las bombas es de 19168.26 \$

### 8.1.6 Resto de equipos

El resto de los equipos de la planta no se han podido estimar debido a la falta de estándares, por lo que se han obtenido los siguientes precios facilitados por la empresa centrifugación alemana.

- Molinos de martillo: 19.000 \$ (2 unidades)
- Centrifugadora vertical: 135.000\$ (4 unidades)
- Decanter: 150.000\$ (3 unidades)
- Maquina de limpieza y despalillado: 60.000\$ (3 unidades)
- Maquina separador pulpa-hueso: 50.000 \$ (2 unidades)
- Termo-batidora: 125.000 \$ (3 unidades)
- Balanza automática: 20.000\$ (2 unidades)

Lo que hace un total de 1.723.000 \$

### 8.1.7 Coste total

Para calcular el coste total de todos los equipos y de la planta al completo por el método de Lang, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_T = F_{lang} * \sum_{i=1}^n C_i \quad \text{Ecuación 22}$$

- $C_T$  = Coste de capital total de la planta
- $C_i$  = Coste estimado de cada uno de los equipos principales de la planta
- $n$  = Número total de equipos
- $F_{lang}$  = Factor de Lang

<i>Tipo de planta</i>	<b>Factor de Lang</b>
<i>Planta de fluidos</i>	4.74
<i>Planta de sólidos y fluidos</i>	3.63
<i>Planta de procesamiento de sólidos</i>	3.10

Tabla 28: Factores de Lang

El resultado obtenido de aplicar la ecuación 22 es el siguiente.

$$C_T = 4.74 * (1723000 + 19168.26 + 34693.56 + 2565832 + 909674.88) = 24.896.227.64 \$$$

El coste total de la planta es de aproximadamente 25 M\$.

### 8.1.8 Análisis de la inversión

Para el análisis de la inversión se ha calculado el VAN y el Payback de la inversión.

El procedimiento del VAN es bastante simple, en primer lugar, se considera una inversión inicial, posteriormente se lleva a cabo el calculo de los flujos de caja, para ello se siguen las siguientes ecuaciones.

$$CF_i = BD_i + Amort \quad \text{Ecuación 23}$$

$$BD_i = (Ing - Gast - Amort) * (1 - TI) \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

- $CF_i$  es el flujo de caja del año  $i$
- $BD_i$  es el beneficio después de impuestos
- Amort es la amortización anual.
- Ing: son los ingresos anuales.
- Gast: son los gastos anuales.
- TI: es la tasa impositiva, en este caso 0,3.

Para el calculo del Van, se emplea la siguiente formula.

$$VAN = -A + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

- A: es la amortización inicial
- n es el numero de años del proyecto
- $CF_i$  es el flujo de caja del año  $i$
- k es el tipo de interés en este caso de 0,1 (10%)

A continuación, se muestra una tabla con los flujos de caja de todos los años.

Las unidades son millones de euros (M€)

AÑO	INVERSION	INGRESO	GASTO	AMORT	BAI	IMPUESTOS	BDI	FC
0	(25)							
1		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
2		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
3		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
4		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
5		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
6		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
7		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
8		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
9		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28
10		48,75	(40)	(0,5155)	8,2345	(2,47)	5,75	6,28

Tabla 29: Flujos de caja

Los ingresos provienen de la venta de 15.000 t de aceite al año, a un precio de mercado de 3,25 €/kg.

Los gastos provienen de personal, el coste de la electricidad y el coste de la compra de aceitunas. La suma del personal asciende a un total de 525.000 €/año debido a un total de 25 trabajadores con un sueldo medio de 1.500 €/mes y un total de 14 pagas.

El coste de la aceituna es de 0,85 €/kg, por un total de 50.000 t/año.

El coste eléctrico es de 127.619,22 €/año, debido a un total de 1.027,52 kW por 1080 h, por un coste de 0,115 €/kWh.

La amortización viene del coste total de los equipos, 5.155.000 € repartidos en los 10 años del proyecto.

La amortización inicial es de 25 M €.

Con todos estos datos los resultados obtenidos son los siguientes.

- Payback: 3.98 años
- VAN: 13.585.730,83 €



# 9 Planos

A continuación, se presenta el plano general de la almazara de aceite.

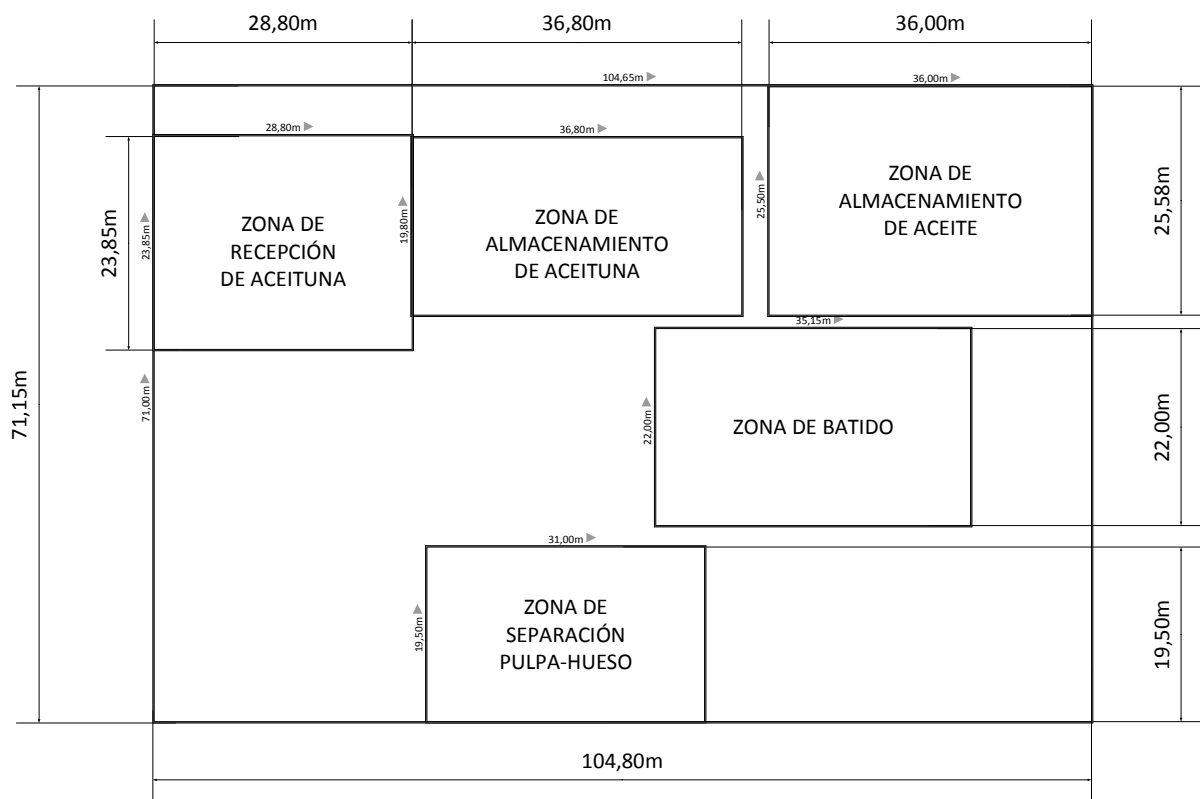


Figura 57: plano principal

En segundo lugar, se muestra el layout de la zona de recepción de aceituna.

Donde:

- A representa las tolvas de recepción
- B representa las maquinas de limpieza y despallado
- C representa la balanza automatica

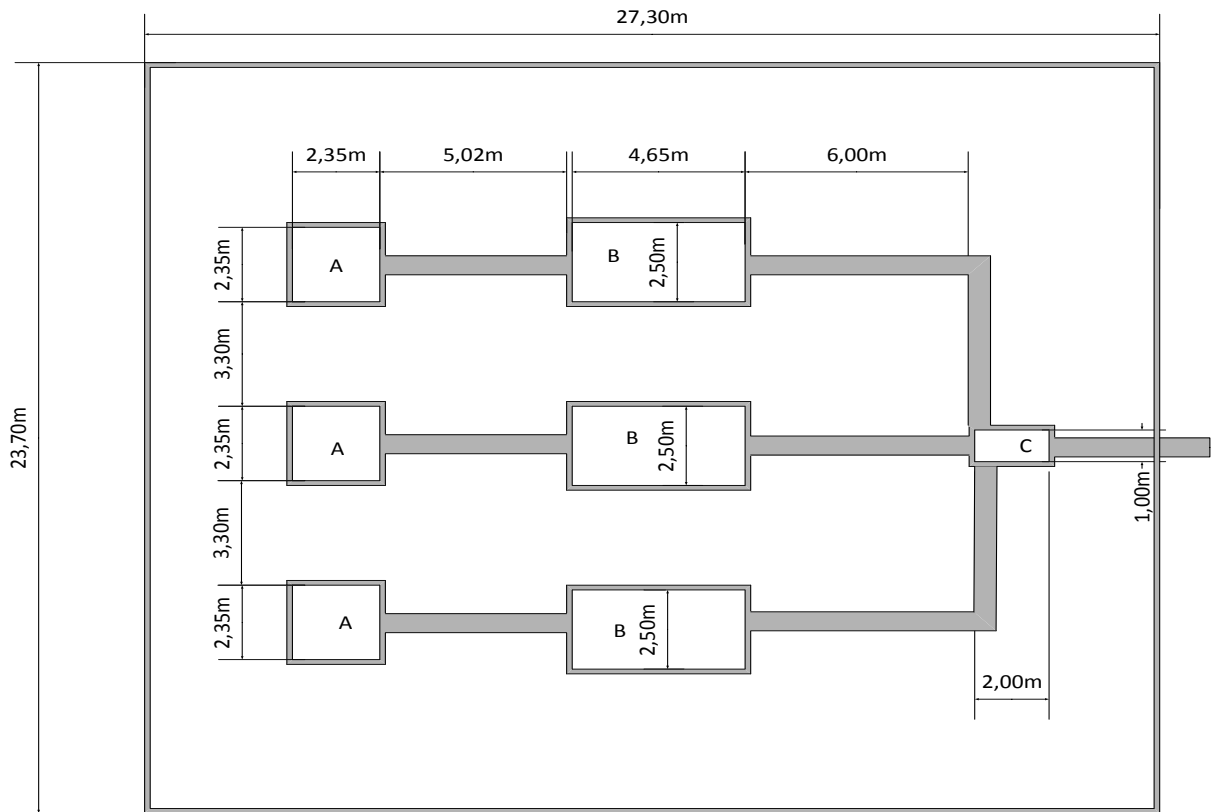


Figura 58: Plano de recepción de aceituna

A continuación, se muestra la zona de almacenamiento de aceituna

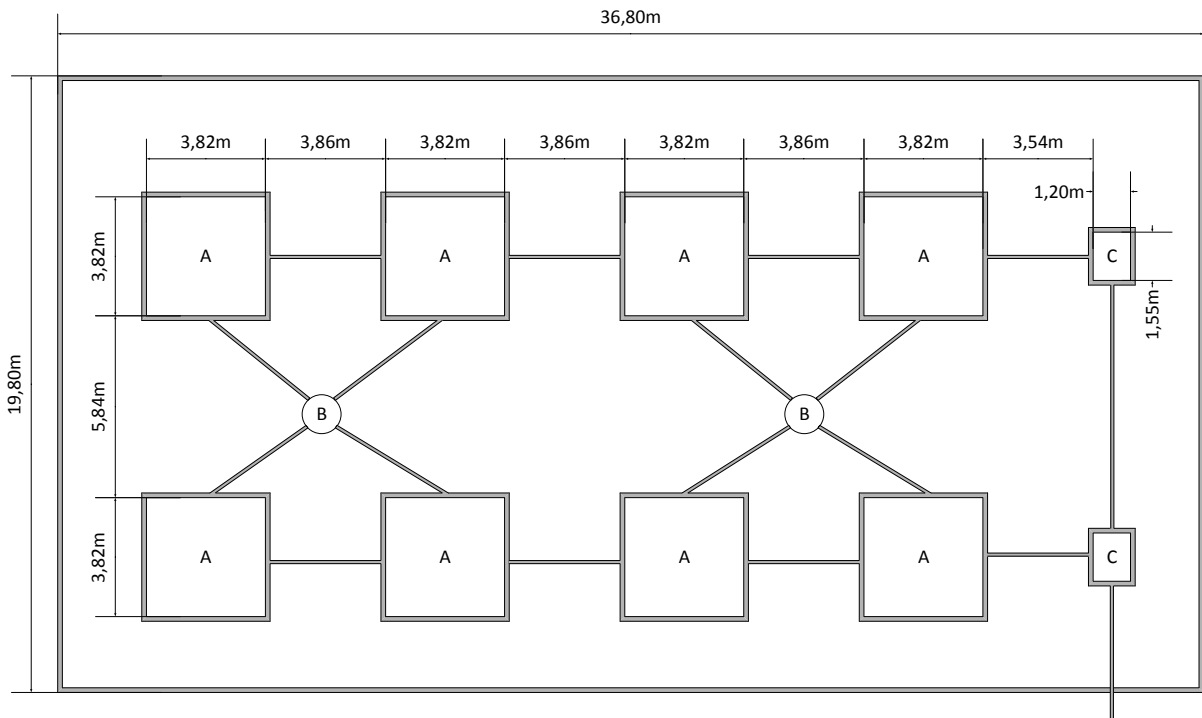


Figura 59: Plano de almacenamiento de aceituna

Donde:

- A representa las tolvas de almacenamiento
- B representa los aero-giratorios
- C representa las trituradoras de martillos

A continuación, se muestra la zona de batido

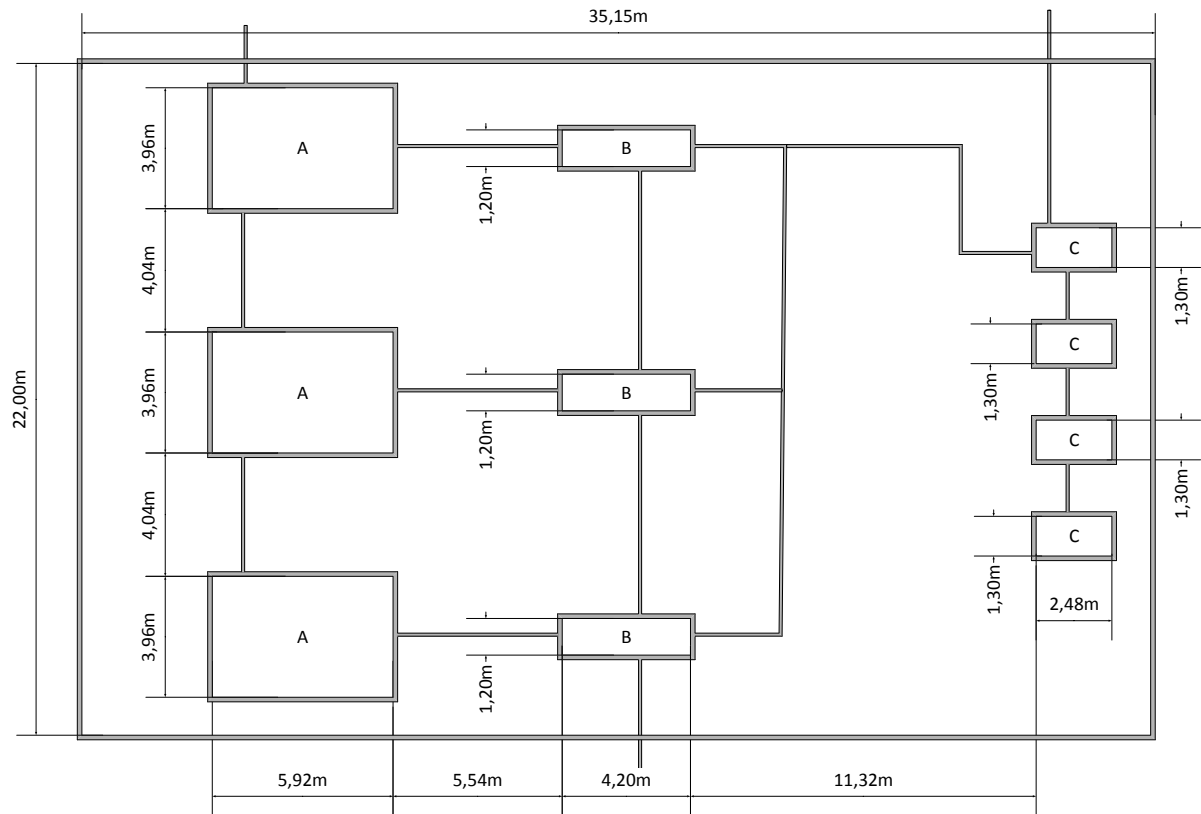


Figura 60: plano de batido

Donde:

- A representa las termo-batidoras
- B representa los decanter
- C representa las centrifugadoras

A continuación, se muestra la zona de separación hueso-pulpa

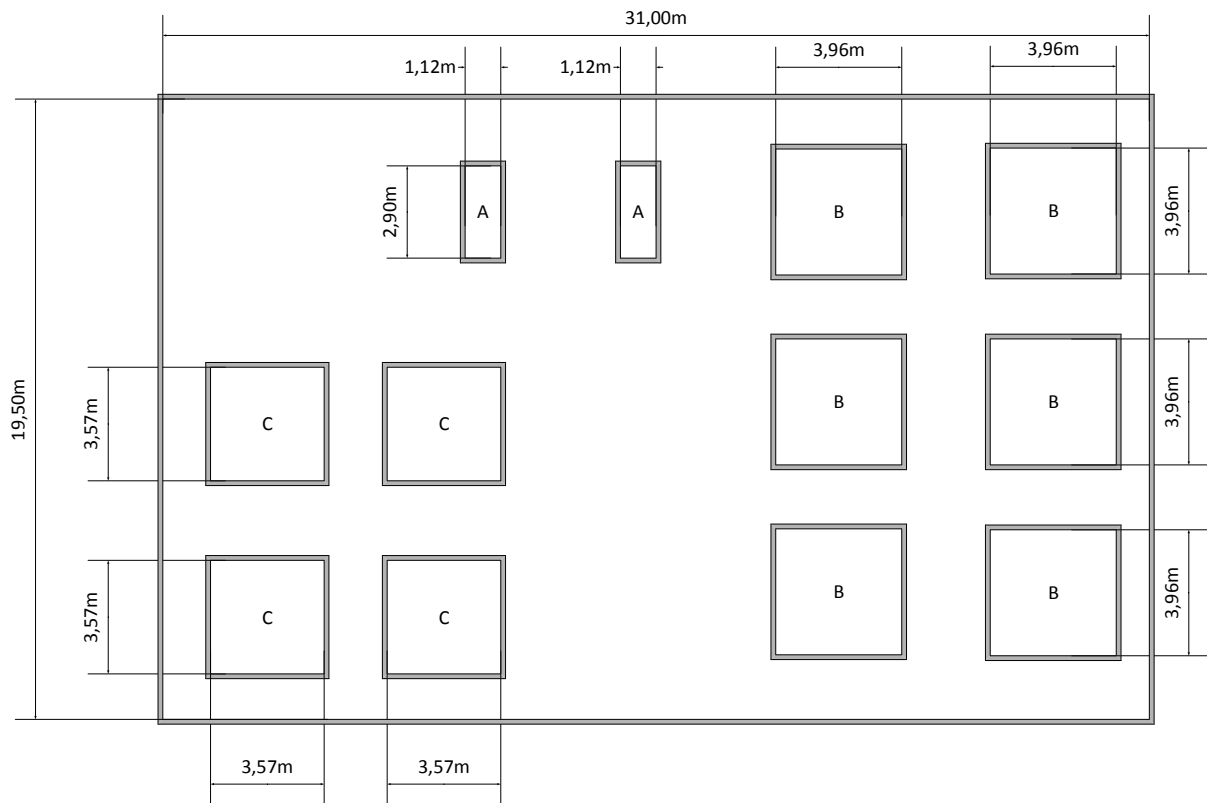


Figura 61: plano de separación pulpa-hueso

Donde:

- A representa las separadoras
- B representa las tolvas de alperujo
- C representa las tolvas de hueso

A continuación, se muestra la zona almacenamiento de aceite.

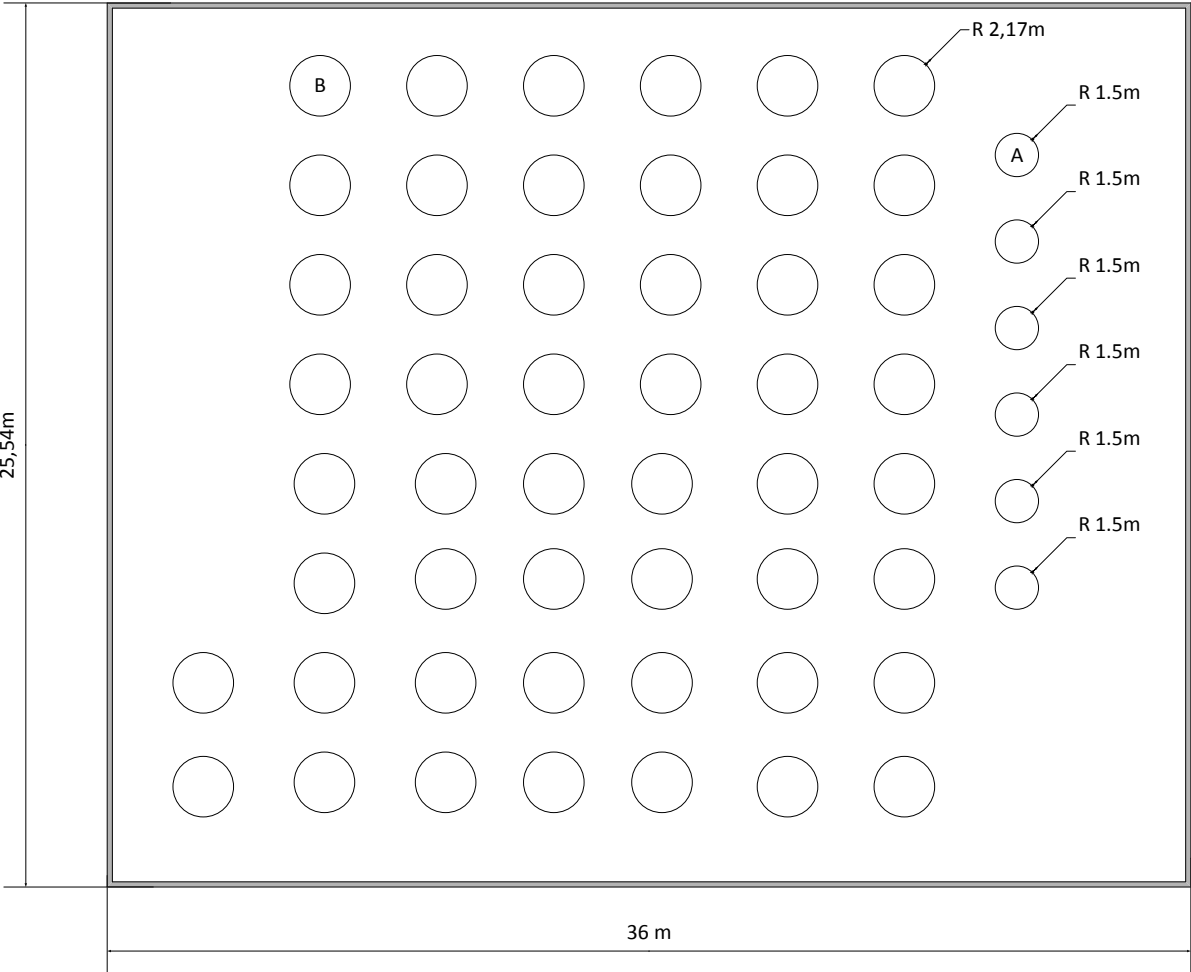


Figura 62: plano de almacenamiento de aceite

Donde:

- A representa los bidones de decantación
- B representa los tanques de almacenamiento.

# Bibliografía

- Aceite de oliva (2018). Recuperado el 4 de marzo de 2018, de <https://www.aceitedeoliva.com/aceite-de-oliva/historia-del-aceite-de-oliva/>
- Aceites de oliva de España (2018). Recuperado el 5 de marzo de 2018, de <https://www.aceitesdeolivadeespana.com/diario-del-aceite/el-aceite-de-oliva-en-la-historia-de-la-humanidad-i>
- Mondoliva (2018). Recuperado el 7 de marzo de 2018, de [http://www.mondoliva.com/el\\_aceite\\_de\\_oliva-el\\_origen\\_del\\_olivo.htm](http://www.mondoliva.com/el_aceite_de_oliva-el_origen_del_olivo.htm)
- Apuntes de la asignatura, “Operaciones básicas con sólidos y fluidos” de la Universidad de Sevilla, del profesor catedrático D. Benito Navarrete Rubia.
- Catalogo de la empresa “Iberica Amenduni”, sobre Decanters horizontales.
- Centrifugara alemana (2018). Recuperado el día 12 de abril de 2018, de <http://www.centrifugacionalemana.com/productos.asp?fm=2&ct=5&mr=0&pr=23>
- Bombas Trief (2018). Recuperado el día 14 de abril de 2018, de <http://www.bombastrief.es/es/productos/trief>
- Calderería Manzano (2018). Recuperado el día 13 de abril de 2018, de <http://www.caldereriamanzano.net/blog/tipos-de-depositos-para-decantacion/>
- Tamesur (2018). Recuperado el día 19 de abril de 2018, de <http://www.tamesur.es/documentos/documento27.pdf>
- Olearum (2018). Recuperado el día 20 de abril de 2018, de <http://www.olearum.com/huesodeaceituna.html>
- Grupo Calero (2018). Recuperado el día 22 de abril de 2018, de <https://www.calero-group.com/productos/eco-1000/>
- Grupo Wam (2018), Recuperado el día 2 de mayo de 2018, de <http://wamgroup.es/es-ES/WAMES/Product/ILT/Indicadores-de-nivel-a-paleta>
- Flow meet (2018). Recuperado el 3 de mayo de 2018 de <https://www.flowmeet.com/productos/caudalimetros/electromagnetico/electromagnetico-serie-e>
- Soler Palau (2018), recuperado el 4 de mayo de 2018 de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sensor-temperatura/>
- Omega (2018), recuperado el 2 de mayo de 2018, de <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>

- Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia. «BOE» núm. 72, de 24 de marzo de 2007, páginas 12841 a 12850 (10 págs.)
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias. «BOE» núm. 31, de 5 de febrero de 2009, páginas 12297 a 12388 (92 págs.)
- Pacto mundial (2018), Recuperado el día 5 de marzo de 2018, de <http://www.pactomundial.org/2017/01/empresas-disminuir-su-huella-de-carbono/>