

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Titulo: PLANTA DE PRODUCCIÓN  
DE VINAGRE DE MIEL

Autora: Marta LÓPEZ GONZÁLEZ

Fecha: Noviembre 2007









**FACULTAD DE CIENCIAS**

**TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VINAGRE DE MIEL**

**RESUMEN**



Según el Real Decreto 1049, de 1 de Agosto de 2003, “la miel es la sustancia natural dulce producida por la abeja *Apis mellifera* a partir del néctar de plantas o de secreciones de partes vivas de plantas presentes en las partes vivas de plantas, que las abejas recolectan, transforman, combinándolas con sustancias específicas propias, depositan, deshidratan, almacenan y dejan en colmenas para que madure”. Es de especial interés remarcar las propiedades saludables relacionadas con el consumo de miel (*apartado 3.1.5 de Antecedentes*); es un producto natural que presenta numerosas propiedades beneficiosas para la salud.

La hidromiel es una bebida procedente de la fermentación alcohólica de miel diluida en agua. El proceso de elaboración de la hidromiel es similar al del vino. La fermentación alcohólica de la miel es un proceso anaerobio llevado a cabo por levaduras, mediante el cual transforman la glucosa de la miel en alcohol para obtener energía. La mayor parte de las cepas fermentativas pertenecen al género *Saccharomyces* y casi siempre a la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Sin embargo, y como es sabido, la importancia del proceso no radica únicamente en la obtención de etanol a partir de los azúcares que se encuentran en el medio, sino que además durante el proceso fermentativo se van a formar una gran cantidad de productos secundarios que influyen en la calidad y tipicidad de la hidromiel.

Según la normativa española “*Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración y Comercialización de los Vinagres*” (Real Decreto 2070/1993, de 26 de Noviembre de 1993), el vinagre se define como “el líquido apto para el consumo humano resultante de la doble fermentación alcohólica y acética de productos de origen agrario que contengan azúcares y sustancias amiláceas”. La fermentación acética es la fermentación bacteriana por *Acetobacter*, un género de bacterias aerobias, que transforma el alcohol en ácido acético.

Así pues, el vinagre de miel es un producto de alto valor añadido, que requiere de dos fermentaciones consecutivas y diferentes, obteniéndose un producto final muy diferenciado cuyas características sensoriales y medicinales lo hacen muy atractivo en gastronomía. En determinados países como Estados Unidos ó Reino Unido todos los derivados de la miel están muy valorados, aunque en nuestro país su demanda es, aún, baja.

Aprovechando las altas producciones de miel registradas en la Sierra de Cádiz, su creciente proyección como centro turístico y gastronómico y el aumento paulatino del consumo nacional de vinagres de distintas procedencias, se plantea en el siguiente proyecto una salida diversificadora para una industria tradicional productora de miel de la zona.

La planta industrial de producción de vinagre de miel se ha diseñado para una producción máxima de 35 m<sup>3</sup>/año. Consta de dos naves diferenciadas y separadas: la nave I donde se lleva a cabo la fermentación alcohólica, en la cual se tienen los depósitos de almacenamiento de la materia prima (uno para la miel, de una capacidad de 6 m<sup>3</sup> y otro para el agua de 1 m<sup>3</sup>), un fermentador alcohólico de 1 m<sup>3</sup>, un decantador y separador de las lías de 1 m<sup>3</sup>, y un depósito de almacenamiento de la hidromiel de una capacidad de 5 m<sup>3</sup>.

La nave II consta de un reactor para la fermentación acética de 1 m<sup>3</sup> de capacidad, un mezclador de 5 m<sup>3</sup> para mezclar el vinagre procedente del fermentador con miel, así como un equipo de filtración tangencial.

En el presente Proyecto Fin de Carrera se ha llevado a cabo el diseño de las unidades de fermentación alcohólica y acética, los depósitos necesarios para el almacenamiento de las materias primas (miel y agua) y productos (hidromiel y vinagre de miel). Además, se han llevado a cabo los siguientes diseños:

- Cálculo de tuberías y pérdidas de carga.
- Selección de las bombas y cálculo de su potencia.
- Calidad, Higiene y Seguridad en planta.
- Gestión de residuos generados.

**DOCUMENTO N°1**

**MEMORIA**

# **MEMORIA DESCRIPTIVA**

## **ÍNDICE DE MEMORIA DESCRIPTIVA**

1. OBJETO DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN.....	1
2. ALCANCE Y LOCALIZACIÓN.....	2
3. ANTECEDENTES.....	3
3.1. La Miel.....	3
3.1.1. Características fisicoquímicas de la miel.....	4
3.1.2. Legislación sobre la miel.....	13
3.1.3. Tipos de miel.....	14
3.1.4. Producción y consumo de miel.....	16
3.1.5. Beneficios del consumo de miel.....	23
3.1.6. Productos elaborados a partir de miel.....	24
3.2. La Hidromiel.....	25
3.2.1. Definición y tipos.....	25
3.2.2. Legislación sobre hidromiel.....	27
3.2.3. Consumo y producción de hidromiel.....	28
3.2.4. La fermentación alcohólica de la miel.....	29
3.2.5. Clarificación.....	33
3.3. El Vinagre de miel.....	34
3.3.1. Introducción.....	34
3.3.2. Producción y consumo.....	36
3.3.3. Fermentación acética.....	36
3.3.4. Clarificación y microfiltración tangencial.....	39
3.3.5. Justificación del interés del proyecto.....	40
4. PROCESO PRODUCTIVO.....	42
4.1. Descripción general del proceso.....	42
4.2. La materia prima.....	44
4.2.1. La miel.....	44
4.2.2. El agua de mezcla.....	47
4.3. El fermentador alcohólico.....	49
4.4. Decantador.....	50
4.5. Depósito de almacenamiento de hidromiel.....	51



4.6. El fermentador acético.....	52
4.6.1. Agitador-aireador.....	54
4.7. Mezclador de miel-vinagre de miel.....	55
4.8. Filtración tangencial.....	56
5. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	57
5.1. Sistema de control para el depósito de miel y el precalentador.....	57
5.1.1. Control de temperatura en el precalentador.....	57
5.1.2. Control de nivel en el precalentador.....	58
5.2. Sistema de control para el depósito de agua.....	59
5.2.1. Control de temperatura en el depósito de agua.....	59
5.2.2. Control de nivel en el depósito de agua.....	60
5.3. Sistema de control para el fermentador alcohólico.....	61
5.3.1. Control de temperatura en el fermentador alcohólico.....	61
5.3.2. Control de temperatura en el fermentador alcohólico.....	62
5.4. Sistema de control del fermentador acético.....	62
5.4.1. Control de temperatura en el fermentador acético.....	62
5.4.2. Control de nivel en el fermentador acético.....	63
5.4.3. Control de oxígeno disuelto.....	64
6. SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y BOMBEO.....	65
6.1. Tuberías.....	65
6.2. Tubuladuras de las conducciones.....	66
6.3. Bombas.....	67
6.4. Válvulas.....	68
7. RÉGIMEN OPERATIVO.....	69
7.1. Producción.....	69
7.2. Inóculo.....	69
7.3. Paradas de mantenimiento.....	70
7.4. Régimen laboral.....	70
8. CALIDAD, HACCP Y SEGURIDAD EN PLANTA.....	71
8.1. Calidad.....	71
8.2. Gestión del control de calidad.....	71
8.3. HACCP.....	71
8.4. Higiene y seguridad en planta.....	78

8.4.1. Normativa aplicable.....	79
8.4.2. Aplicación de la seguridad en la planta.....	81
8.4.3. Aplicación de la higiene en la planta.....	84
<b>9. RESIDUOS GENERADOS.....</b>	<b>89</b>
9.1. Características de los residuos y subproductos.....	89
9.2. Efluentes líquidos.....	89
9.3. Efluentes gaseosos.....	91
9.4. Residuos sólidos.....	91
9.5. Minimización de residuos.....	92
Bibliografía.....	93

## **1. OBJETO DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN**

El presente documento tiene la consideración de Proyecto Fin de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Químico.

El objeto del presente Proyecto es el diseño del proceso industrial para la obtención de vinagre de miel mediante una fermentación alcohólica y una posterior fermentación acética.

Se abordará en el proceso completo desde la recepción de la materia prima (miel) hasta la obtención del vinagre de miel.

El diseño incluye la elección de las condiciones de operación más adecuadas, el diseño de los fermentadores y depósitos, así como los sistemas de refrigeración y calefacción para los fermentadores.

En este Proyecto no se incluyen las operaciones de envasado y etiquetado, ni tampoco las obras civiles que serían necesarias para albergar las instalaciones proyectadas.

## 2. ALCANCE Y LOCALIZACIÓN

La planta proyectada se ubicará en la comarca de la Sierra de Cádiz, dentro del término municipal de El Bosque, integrado dentro de la ruta de los pueblos blancos. Está situada en la provincia de Cádiz, al Sur de España, una región atravesada por una cómoda red de comunicaciones por carretera y a una hora y media de conexión con el Puerto de Cádiz, una de las más importantes vías marítimas de mercancías en la zona.

Se ha pensado en dicha localización por ser la puerta de entrada al parque natural *Sierra de Grazalema*, comarca donde se elabora y recoge miel, y tiene fácil acceso por carretera, pensando de esta forma en la logística de la empresa.

El emplazamiento de la instalación se encuentra en el polígono industrial Huerto Blanquillo de dicha localidad.

Con ésta ubicación la materia prima está garantizada, puesto que se encuentra en un enclave estratégico para recibir abastecimiento de miel procedente de toda la Sierra. En caso de que este suministro se interrumpiera por algún motivo, no habría ningún problema ya que, mediante la existencia de una red aceptable de transportes y comunicaciones, podría abastecerse de otras empresas recolectoras de miel de la provincia.

A efectos de distribución en planta y en la realización de cálculos, se ha considerado en todo momento que se dispone de un área sin desniveles apreciables y sin limitaciones excesivas de espacio. La instalación requerirá una superficie de 200 m<sup>2</sup> aproximadamente, distribuidos conforme a lo dispuesto en el Plano N° 01.

### **3. ANTECEDENTES**

El vinagre ha sido utilizado como condimento o conservador de los alimentos desde tiempos remotos y es tal vez uno de los componentes más consumidos en la dieta humana debido a sus innumerables usos.

Dada su acidez, el vinagre es valorado por sus propiedades antisépticas y conservantes en la elaboración de encurtidos y escabeches.

Se trata de un condimento fundamental para una gran variedad de alimentos y platos. Es especialmente interesante en la elaboración de productos grasos tales como la mayonesa, mostaza, salsas, pastas de tomate y ensaladas preparadas.

Puede elaborarse vinagre a partir de cualquier alimento que pueda ser fermentado para obtener alcohol, dando lugar a una gran variedad de productos según el sustrato de partida: vinagre de vino (uva), de manzana, de arroz, de miel, de malta, inclusive se pueden aromatizar con hierbas o especias (romero, menta, estragón, ajo, etc.).

#### **3.1 LA MIEL**

Se conoce por miel al producto elaborado por las abejas del género *Apis*, que son un grupo de cuatro especies de insectos himenópteros sociales: *Apis cerana*, *Apis dorsata* y *Apis florea*, que se distribuyen por el sudeste asiático y *Apis mellifera* que ocupa el resto del mundo.

A partir del néctar de plantas, de secreciones procedentes de partes vivas de plantas o que se encuentran sobre ellas, y que las abejas recolectan, transforman (combinándolas con sustancias específicas propias), depositan, deshidratan, almacenan y dejan en las colmenas para que madure, se obtiene la miel.

La miel de abeja ha constituido desde los tiempos más remotos uno de los principales alimentos azucarados de la humanidad. Hasta finales del siglo XVIII puede decirse que fue la única sustancia que se usó como edulcorante. Era empleada en todas las formas en que hoy se usa el azúcar, ya sea pura, mezclada con agua, vino, té, etc., considerándola como uno de los alimentos más apreciados. Existen numerosas referencias acerca del empleo que diversos pueblos hicieron de la miel incorporándola a



su dieta habitual, usándola en las ceremonias litúrgicas, etc.

Sin embargo, no hay datos históricos precisos sobre el consumo per cápita de la miel, aunque formaba parte de la economía agrícola. Hasta ahora, los historiadores y escritores de alimentación han sugerido que fue un producto escaso disponible solamente para unos pocos ricos. Sí se sabe, sin embargo, que en una economía de cambio la miel fue vendida en grandes unidades (galones e incluso barriles).

Desde el punto de vista de su valor alimenticio, la miel es un jarabe natural sin refinar, con sabor y aroma agradables y bien característicos, compuesta por cuatro partes de azúcar y una de agua aproximadamente.

Además, es un producto que cuenta con importantes atributos naturales, no necesita de tratamientos para ser mejorada y es uno de los alimentos más completos con los que cuenta la sociedad actual para enriquecer la dieta diaria.

Se produce prácticamente en el mundo entero, y de dicha producción mundial, el 90% se consume como miel de mesa y el 10% se distribuye entre distintos procesos, como por ejemplo: industria alimentaria, industria farmacéutica o industria de cosméticos. Además, algunos productos derivados se elaboran de forma casera, con notable éxito. Algunos de éstos productos son el vino de miel (hidromiel), mantequilla con miel, cerveza de miel, yogurt con miel y licor de miel.

Como este producto puede conservarse por mucho tiempo dentro de la colmena, y también, bien acondicionado, fuera de ella, el momento adecuado para extraerlo y procesarlo, lo determina el apicultor.

### **3.1.1. Características fisicoquímicas y organolépticas**

Las características físicas, químicas y organolépticas de la miel vienen determinadas por el tipo de néctar que recogen las abejas y su composición es tan variada que no existen dos mieles iguales, pues se dan grandes diferencias con relación al sabor, tono de color, densidad, viscosidad, cristalización, etc.

Una vez extraída, la miel es una sustancia natural dulce que presenta un aspecto casi líquido, más o menos fluida, y cuya consistencia aumenta con el tiempo, tornándose opaca y de aspecto granuloso.

### 3.1.1.1. Características fisicoquímicas de la miel

Algunas características fisicoquímicas de la miel se presentan en la Tabla 3.-

<b>Densidad</b> (kg/m <sup>3</sup> ) (25°C)	1400
<b>Viscosidad</b> (kg/m·s)	20-40
<b>pH</b>	3,4-6,0
<b>Azúcares</b> (15°C)	80° Brix (44 Bé)
<b>% sólidos</b>	81
<b>C<sub>e</sub> antes solidificar</b> (kJ/kg·K)	1,47
<b>C<sub>e</sub> después de solidificar</b> (kJ/kg·K)	1,09
<b>λ solidificación o fusión</b> (kJ/kg·K)	58,6

**Tabla 1. Características de la miel.**  
Fuente: “Manual de datos para Ingeniería de los Alimentos”.  
Hayes, G. Ed. Acribia S.A. (1992).

Características reológicas a una temperatura de 24° C,

<b>Índice de comportamiento de flujo (n)</b>	1
<b>Método</b>	Tubo capilar
<b>Consistencia (Pa s<sup>n</sup>)</b>	5,6-6,2

**Tabla 2. Características reológicas de la miel (24° C).**  
Fuente: “Manual de datos para Ingeniería de los Alimentos”.  
Hayes, G. Ed. Acribia S.A. (1992).

### 3.1.1.2. Composición química de la miel

La miel, mayoritariamente está compuesta por carbohidratos (azúcares) y gran parte de estos están desdoblados, es decir, están predigeridos, lo que facilita enormemente su absorción. Básicamente la miel tiene un 80% de azúcares (los principales son la fructosa y la glucosa), hasta un 20% de humedad, una pequeña cantidad de proteínas, de ácidos, de grasas y cenizas (sustancias minerales).

En valores medios la composición de la miel estaría recogida en la Tabla 3.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	%
Agua	17,20
Fructosa	31,80
Glucosa	31,28
Sacarosa	1,31
Otros azúcares	17,91
Elementos minerales (Sílice, Cobre, Manganeso, Cloro, Calcio, Potasio, Sodio, Fósforo, Azufre, Aluminio, Magnesio...)	0,20
Otras	hasta 100

Tabla 3.- Composición química media de la miel.

Fuente: “Estudio sobre: Desarrollo de una tecnología para la producción industrial de hidromiel” (1990). José Barrera López. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Lugo.

❖ Azúcares:

A través del proceso denominado fotosíntesis las plantas producen hidratos de carbono, tales como sacarosa, glucosa, levulosa y otros, que constituyen la savia elaborada que sirve de alimento a la planta. Al recorrer las diversas partes de la planta, la savia elaborada atraviesa unos órganos especiales, localizados en la flor, llamados nectarios y, por fenómenos osmóticos, se acumula en esos receptáculos en forma de néctar, donde las abejas la recogen para su transformación.

El proceso de conversión del néctar en miel implica dos procesos diferentes. Uno químico, en el cual la sacarosa es desdoblada en glucosa (dextrosa) y fructosa (levulosa), azúcares simples, por acción de la enzima invertasa, presente en la saliva de las abejas pecoreadoras<sup>1</sup>. Éstas, al llegar a la colmena, transfieren el néctar a otras abejas, quienes lo regurgitan junto a su saliva (agregándole más invertasa) y depositan en las celdas de los panales destinados a su almacenamiento. El segundo proceso consiste en crear corrientes de aire caliente que deshidratan el néctar, reduciendo el contenido de agua a menos del 20% y produciéndose finalmente la miel. Este proceso, de orden físico, se logra a través de la ventilación y evaporación, como resultado del calor generado por el movimiento de los músculos torácicos y las alas de las abejas.

<sup>1</sup> Abejas que salen de las colmenas para recolectar (recoger alimentos fuera de la colmena).



❖ Vitaminas:

Los contenidos de vitaminas en la miel son bajos. Las que se encuentran en mayor proporción son: tiamina (B<sub>1</sub>), riboflavina (B<sub>2</sub>), piridoxina (B<sub>6</sub>), ácido nicotínico (PP), ácido pantoténico, y ácido ascórbico (Vit. C); y en menor cantidad: vitamina k, niacina, ácido fólico y biotina.

❖ Enzimas:

Las enzimas que se han encontrado en la miel son:

- Invertasa y glucosa oxidasa, procedentes de las abejas.
- Catalasa: enzima presente en organismos vivos y que cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua.
- Fosfatasa: enzima presente en los tejidos de los seres vivos.
- Diastasa: enzima de origen vegetal, cataliza la hidrólisis del almidón.
- Inulasa: enzima que convierte la inulina (polisacárido) en levulosa.

Un indicador del grado de frescura de la miel es la actividad diastásica, cuyo valor se ve alterado por la acción del calor y el almacenamiento por tiempo prolongado. Según el Real Decreto 1049/2003, que recoge la Norma relativa a la calidad de la miel el índice diastásico (escala de Schade) no debe ser menor de 8 para la miel en general.

❖ Minerales:

La siguiente tabla muestra la concentración media de minerales en la miel.



<u>Mineral</u>	<u>Rangos</u>
Potasio	100-4733
Cloro	23-201
Azufre	36-126
Calcio	5-266
Sodio	6-100
Fósforo	23-58
Magnesio	7-126
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	5-28
Hierro	0,70-33,50
Manganeso	0,17-9,53
Cobre	0,14-1,04

**Tabla 4.- Cantidades medias de minerales (en ppm).**  
**Fuente: “Parámetros fisicoquímicos de mieles”. M<sup>a</sup> Pilar Buera.**  
**Universidad de Belgrano, Buenos Aires.**

Asimismo, la miel presenta trazas de: molibdeno, bario, oro, paladio, aluminio, plata, vanadio, galio, bismuto, germanio, cromo, estroncio, titanio, zinc, berilio, yodo, litio, boro, níquel, estaño, cobalto, plomo, osmio, zirconio.

❖ **Lípidos:**

En pequeñas cantidades los lípidos más importantes presentes en la miel son: glicéridos, esteroides, fosfolípidos, ácido oleico, ácido mirístico, ácido linoleico, ácido palmítico, ácido láurico, ácido esteárico.

❖ **Flavonoides:**

En la miel se encuentran trazas de flavonoides como: quercetina, isoramnetina, kampferol, entre otros. Son compuestos fenólicos responsables de la coloración de numerosas flores.

❖ **Otros:**

Resinas, terpenos, aldehídos, alcoholes superiores, sustancias coloidales, acetilcolina, inhibina y germicida (antibióticos).

❖ Componentes volátiles:

Se han detectado más de 66 componentes volátiles de la miel, algunos de los cuáles son: 3,9-epoxi-1-p-mentadieno, t-8-pmenteno-1,2-diol, cis-rose oxide, dicetonas, alcanos, compuestos azufrados, hexanal, heptanal, metil antranilato.

❖ Hidroximetilfurfural (HMF):

A lo largo de su almacenamiento la miel puede sufrir modificaciones químicas. Una de éstas modificaciones es la formación de hidroximetilfurfural (HMF), que procede de la descomposición de fructosa en medio ácido cuando las mieles se conservan largo tiempo a temperatura ambiente elevada (su porcentaje aumenta con el tiempo de almacenamiento y con la temperatura).

Se trata de una sustancia inocua determinada de forma rutinaria en análisis de miel, ya que su presencia determina el grado de envejecimiento de una miel, y de ahí su importancia. A mayor cantidad de HMF, menor frescura.

En condiciones normales de almacenamiento el HMF prácticamente no aumenta en el primer año de almacenamiento de la miel, pero se incrementa fuertemente a lo largo de dos años. Para su comercialización se exige un contenido máximo de 40 mg/kg, ya que la miel recién extraída con buenas prácticas de manipulación contiene un pequeño porcentaje de HMF.

### **3.1.1.3. Características organolépticas**

El color de la miel varía desde los tonos blancos hasta los pardos oscuros, aunque predominan los tonos castaño-claro o ambarinos. El color oscuro no significa que sea de calidad inferior, sino que tiene mayor acidez, más alto contenido en sustancias minerales y más riqueza en polisacáridos, mientras que las mieles claras son más suaves. También el envejecimiento natural de la miel produce tonos más oscuros.

Según el color y su localización en la escala de Pfund (1-140 mm) la clasificación comercial de la miel sería la presentada en la Tabla 3.

Designaciones Standard de Color (USDA)	Intervalos de Color en la escala Pfund (mm)
Blanco Agua	< 8
Extra Blanca	> 8 a < 17
Blanca	> 17 a < 34
Ámbar Extra Clara	> 34 a < 50
Ámbar Clara	> 50 a < 85
Ámbar	> 85 a < 114
Ámbar Oscuro	> 114

**Tabla 5.- Relación entre color de la miel y sus respectivos valores en la escala de Pfund (mm).  
Fuente: Hanna Instruments, empresa para la fabricación de instrumentación electro-analítica.**

En cuanto al aroma, el olor de la miel depende de la planta en que las abejas han recogido el néctar; así, las mieles monoflorales tienen el olor característico de la planta de que proceden (como por ejemplo, miel de azahar, de romero o eucalipto).

#### 3.1.1.4. Características relacionadas con el deterioro o alteración de la miel

- *Cenizas (minerales).*

Esta medida se relaciona con problemas de higiene (tierra y arena). La miel adulterada con melaza también puede presentar un alto porcentaje de cenizas.

No se admiten metales pesados que superen los máximos permitidos por los alimentos en general, según el Reglamento (CE) N° 1881/2006 de la Comisión, de 19 de Diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios.

- *Sólidos insolubles en agua.*

Según el Real Decreto que rige la calidad de la miel el máximo valor permitido para los sólidos insolubles en agua es de 0,1 g/100 g para miel en general y no superior a 0,5 g/100 g en miel prensada.

La miel se somete a un proceso de filtración para eliminar restos de insectos, granos de arena, trozos de panal, restos de cera, polvo y otros sólidos insolubles. Un

valor que supere el máximo de sólidos insolubles puede deberse a un filtrado inadecuado y/o problemas de higiene.

- *Acidez.*

Expresada como miliequivalentes de ácido/kg, en el Real Decreto se establece un máximo de 50 para miel en general y de 80 en miel para uso industrial.

La acidez indica el grado de frescura de La miel. Se relaciona también con la probable fermentación por desarrollo de microorganismos. Este parámetro también es importante porque en el caso de haberse usado ácido láctico o fórmico para combatir la Varroa<sup>2</sup> la acidez de la miel aumenta. El sobrecalentamiento es otro factor que se refleja en un alto valor de acidez.

- *Hidroximetilfurfural*, en el apartado anterior se comentó cómo afectan a este parámetro las alteraciones de la miel.

- *Enzima diastasa*, también se ha explicado la relación entre ésta y la alteración de la miel en el apartado anterior.

### **3.1.1.5. *Cristalización de la miel***

En general, todas las mieles solidifican con el tiempo. Este fenómeno natural también se denomina cristalización.

La cantidad de glucosa y de fructosa presente en la miel, así como la humedad de la misma, son los principales factores que determinan la cristalización de la miel. A mayor cantidad de glucosa más rápido se produce la cristalización y cuanto mayor es la cantidad de fructosa menor es la tendencia a cristalizar. Con el contenido de agua sucede que a mayor cantidad de agua menor es la tendencia a cristalizar, es decir, que una baja relación glucosa/H<sub>2</sub>O (%) presente en la miel da como resultado una menor tendencia a cristalizar.

---

<sup>2</sup> Ácaros que afectan a las abejas.

Sin embargo, muchos otros factores afectan a la cristalización de la miel, de manera que algunos grupos de miel nunca se cristalizan, mientras que otras lo hacen pocos días después de la extracción.

La cristalización de la miel puede dar un aspecto granulado grueso o fino dependiendo del tipo de agregación de la glucosa. Con el fin de evitar estas cristalizaciones, muchas industrias someten a la miel a un proceso de pasteurización, el cual destruye los cristales de glucosa y la vuelve líquida, con el inconveniente de que pueden desnaturalizarse sus enzimas y vitaminas.

#### *Influencia de la temperatura en la cristalización de la miel.*

Temperaturas frías, por debajo de los 10°C, evitan la cristalización. Temperaturas moderadas de 10-21°C, generalmente promueven la cristalización. Temperaturas de 21 - 27°C, evitan la cristalización pero degrada la miel. Y temperaturas muy altas (sobre los 27°C) previenen la cristalización pero incentivan la fermentación, así como también la degradación de la miel.

### **3.1.2. Legislación sobre la miel**

El Real Decreto 1049, de 1 de Agosto de 2003 sobre la Norma de Calidad relativa a la miel es la legislación vigente que se aplica en España.

De acuerdo con ésta normativa *la Miel es la sustancia natural dulce producida por la abeja Apis mellifera a partir del néctar de plantas o de secreciones de partes vivas de plantas o de excreciones de insectos chupadores presentes en las partes vivas de plantas, que las abejas recolectan, transforman, combinándolas con sustancias específicas propias, depositan, deshidratan, almacenan y dejan en colmenas para que madure.*

Se establecen las principales variedades de miel según su origen y elaboración.

La Norma especifica varios parámetros de composición, que son los siguientes:

- Contenido de azúcares. Distinguiéndose entre:
  - Contenido de fructosa y glucosa en:
    - Miel de flores.....no inferior a 60 g/100 g de miel.
    - Miel de mielada, mezclas de miel de mielada con miel de flores.....no inferior de 45 g/100 g.



- Contenido en sacarosa de:
  - Miel en general.....no superior a 5 g/100 g de miel.
  - Miel de Falsa acacia “Robinia pseudoacacia”, alfalfa “Medicago sativa”, Banksia de Menzies “Banksia menziesii”, Sulla “hedysarum”, Eucalipto rojo “Eucalyptus camaldulensis”, Eucryphia lucida, Eucryphia milligani, Citrus spp .....no superior a 10 g/100 g.
  - Espliego “Lavandula spp.”, borraja “Borago officinalis” .....no superior a 15 g/100 g.
  
- Contenido de agua:
  - Miel en general.....no más del 20%.
  - Miel de brezo ”Calluna” y miel para uso industrial en general.....no más del 23%.
  - Miel de brezo “Calluna vulgaris” para uso industrial .....no más del 25%.

### 3.1.3. Tipos de miel

- Según el origen la miel puede clasificarse en:
    - *Miel de flores*: es la producida por las abejas a partir del néctar de las flores. Hay muchas variedades:
      - *Monofloral*: en ellas predomina el néctar de una especie de flores. Las más usuales son romero, castaño, tomillo, brezo, naranjo o azahar, tilo, acacia, lavanda, eucalipto, zarzamora, madroño, etc.
- Para que un tipo de miel pueda considerarse “monofloral” es preciso que contenga más del 45% del néctar de esa clase de flor. Por debajo de ese porcentaje se habla de “mieles multiflorales” o de “mil flores”.

- *Multifloral o “mil flores”*. En ellas existe una mezcla de néctar de varias especies en distintas proporciones según la existencia de esa especie en el momento de la recolección.
  - *De sierra o de montaña y del desierto*: son tipos especiales de *mil flores* elaboradas a partir del néctar que las abejas recogen a gran altitud o en el desierto (vara dulce, mezquite, gatun).

A través del estudio del polen contenido en la miel virgen (que no ha sido sometida a ningún tratamiento) se puede determinar su origen floral.

- *Miel de mielada*: es producida por las abejas a partir de secreciones dulces de insectos. Suelen ser mieles menos dulces, de color muy oscuro, se solidifican con dificultad, y no es raro que exhiban olor y sabor especiados, resinosos.

- Según el método de extracción:

- La *miel centrifugada* es la miel obtenida mediante la centrifugación de los panales desoperculados<sup>3</sup>, sin larvas.
- La *miel prensada* es la miel obtenida mediante la compresión de los panales, sin larvas, con o sin la aplicación de calor moderado.
- La *miel escurrida* es la miel obtenida mediante el drenaje de los panales desoperculados sin larvas.

- Según su presentación:

La miel puede ser presentada de las siguientes formas:

- *Miel*: presentación en estado líquido o cristalizado, o una mezcla de ambas. De este modo, podría hablarse de:
  - *Miel natural*.
  - *Miel industrial*.

---

<sup>3</sup> Desopercular: quitar, normalmente con un cuchillo, la fina capa de cera que reviste las celdas de un panal para extraer la miel.

La principal diferencia entre la miel natural y la industrial radica en que la primera se consume tal como sale del panal, y la segunda, pasa por un proceso de pasteurización mediante el que se calienta hasta los 78°C durante aproximadamente un minuto.

- *Miel en panal*: la miel almacenada por las abejas en panales recién contruidos, sin larvas y vendida en panales enteros cerrados o secciones de tales panales.

- *Miel cremosa*: es la miel que tiene una estructura cristalina fina que puede haber sido sometida a un proceso físico que le confiera esa estructura y que la haga fácil de untar.

- Según su destino:

- *Miel para consumo directo*.

- *Miel para utilización en la industria*: se incluye aquella que no corresponda a las exigencias citadas en cuanto a humedad, hidroximetilfurfural, ácidos libres y actividad diastásica. Aquella que presenta un sabor o un olor extraños, que haya comenzado a fermentar o haya fermentado y también la que haya sido sobrecalentada.

### **3.1.4. Producción y Consumo de miel**

La producción de miel por colmena y año es variable, y depende de varios factores:

- 1) el número de abejas.
- 2) el tipo de floración.
- 3) la cantidad de néctar de esta flora.
- 4) las condiciones climáticas.

**3.1.4.1. Situación a nivel mundial y Unión Europea.**➤ Producción

Los principales países productores de miel en el ámbito mundial son en orden descendente China, Estados Unidos y Argentina, los cuales en el año 2000 produjeron 253, 101, y 90 miles de toneladas respectivamente. A nivel mundial son China y Argentina los principales exportadores.

China es muy rica en recursos naturales, siendo el mayor productor del mundo de productos apícolas.

La Unión Europea produce la mitad de la miel que consume, ya que la otra mitad es importada.

PAÍSES	1998	1999	2000	2001	2002	%
China	211	236	252	255	258	20,35
Ex-URSS	134	132	125	137	136	10,73
UE	109	117	114	113	112	8,83
EE.UU.	100	94	100	100	100	7,89
Argentina	75	93	98	90	85	6,70
Turquía	67	67	60	60	60	4,73
Ucrania	59	55	52	60	60	4,73
Méjico	55	55	59	59	61	4,81
India	51	51	52	52	52	4,10
Canadá	46	37	31	32	32	2,52
Australia	22	19	21	21	21	1,66
Brasil	18	20	22	20	15	1,18
Hungría	17	16	15	11	16	1,26
Otros	223	238	259	253	260	20,50
TOTAL	1187	1230	1260	1263	1268	100,00

**Tabla 6.- Principales países productores de miel (miles de toneladas).  
Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (M.A.P.A.).**

Según la información del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en el año 2004 el valor de las exportaciones en Europa registró una importante caída respecto a los dos años anteriores, donde hubo altos niveles de producción. El volumen

exportado descendió a 5.555 toneladas en la Unión Europea, 30% por debajo de la del año anterior. En 2006 se están recuperando las exportaciones.

PAÍSES	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001	%
Bélgica/Luxemburgo	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,61
Dinamarca	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	1,61
Alemania	15,0	15,0	16,0	20,0	20,0	16,10
Grecia	15,0	15,0	14,0	14,0	14,0	11,27
<b>España</b>	<b>30,4</b>	<b>34,0</b>	<b>33,0</b>	<b>31,0</b>	<b>33,0</b>	<b>26,57</b>
Francia	28,0	26,0	28,0	27,0	25,0	20,13
Irlanda	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08
Italia	11,0	12,0	10,0	10,0	9,0	7,25
Holanda	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08
Austria	5,5	5,0	8,0	9,0	9,0	7,25
Portugal	11,0	11,0	11,0	11,0	4,0	3,22
Finlandia	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	0,81
Suecia	3,3	1,0	1,0	1,0	2,0	1,61
Reino Unido	4,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,42
EUR-15	130,1	128,2	129,2	132,2	124,2	100,00
España/EUR.(%)	23,37	26,52	25,54	23,45	26,57	

**Tabla 7.- Producción de miel en la unión europea (miles de toneladas, producción utilizable).**  
Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Dentro del marco de la UE las exportaciones españolas empezaron a descender en el año 2003 y continuaron al año siguiente, pero ahora se van recuperando al igual que el resto de Europa. En el año 2005 España ocupaba el segundo puesto en exportación a nivel comunitario, por detrás de Alemania, y seguida por Francia y Hungría. Sus exportaciones se dirigen fundamentalmente a países de la Unión Europea y a los países árabes, siendo los principales clientes Francia (33%), Alemania (18%), Portugal (12%), Grecia (4%), Suecia (4%), etc.

En cuanto a las importaciones descendieron en el año 2003 y continuaron en el año 2004 de forma global en la Unión Europea. Sin embargo, España acusó más el descenso en el 2002 y después se ha ido recuperando paulatinamente, hasta ocupar en el 2005 el tercer lugar en importaciones a nivel comunitario, precedida por Alemania y el Reino Unido, y seguida por Italia y Francia.



➤ Consumo

De acuerdo a datos de la FAO correspondientes al año 2000, los principales compradores a nivel mundial de miel fueron Alemania, EEUU, Japón, Reino Unido y Francia. A ellos les siguen otros países de la Unión Europea con cantidades un poco inferiores a las francesas. Lo que destaca el organismo internacional es que Dinamarca y Arabia Saudita han ido incrementando su demanda al mercado internacional al punto de sobrepasar a países tradicionales.

China, con su crecimiento económico en los últimos años, podría entrar en la lista de consumidores muy pronto si su producción local no llega a adaptarse a la demanda interna.

Comparando datos de consumo en una década (1992-2001), observamos que en muchos países considerados desarrollados, el consumo tiene una tendencia hacia la baja (como Alemania y Suiza); en muchos países africanos y latinoamericanos, se mantienen casi las cifras; y en caso contrario, en los países de Europa del Este y Central se han incrementado paulatinamente.

Alemania no solo importa mucha miel, sino que reexporta miel fraccionada, con valor agregado, a países de Medio Oriente.

**3.1.4.2. Situación Nacional y Regional.**

➤ Producción

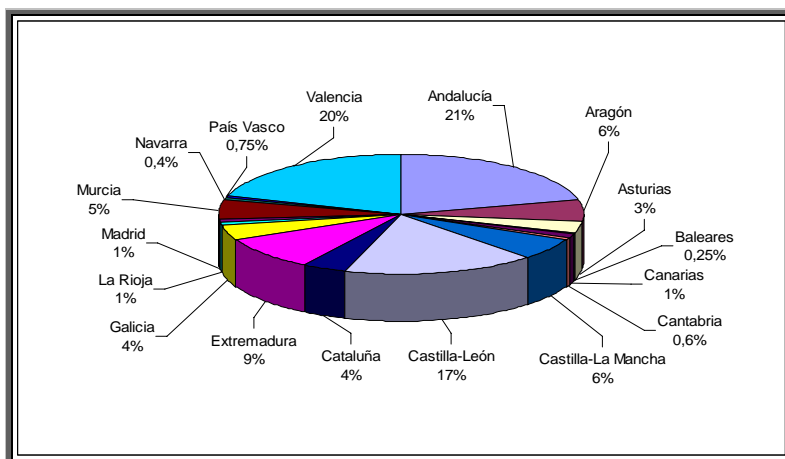
En la siguiente tabla se puede ver la producción en España de varios productos apícolas, distribuida por comunidad autónoma en el año 2003.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Colmenas totales	Total de apicultores	Producción total		
			miel (t)	cera (kg)	polen (kg)
<b>Andalucía</b>	<b>547.728</b>	<b>3.471</b>	<b>7.200</b>	<b>350.000</b>	<b>100.000</b>
Aragón	99.581	1.704	2.540	114.000	20.000
Asturias	35.342	1.721	1.100	20.000	0
Baleares	7.896	309	140	0	0
Canarias	19.116	778	328	5.200	0
Cantabria	12.933	401	340	11.400	0
C. - La Mancha	184.515	1.520	2.372	235.784	63.000
Castilla y León	399.768	4.633	5.367	177.000	425.000
Cataluña	113.530	1.141	1.213	114.561	0
Extremadura	387.247	935	5.775	475.740	500.000
Galicia	79.240	3.071	1.275	60.000	0
La Rioja	16.177	266	206	9.170	0
Madrid	21.389	361	230	2.600	16.000
Murcia	74.388	315	1.620	35.000	0
Navarra	13.902	516	121	2.532	0
País Vasco	20.648	1.419	285	1.743	0
Valencia	431.201	2.045	6.500	0	0
<b>Total</b>	<b>2.464.601</b>	<b>24.606</b>	<b>36.612</b>	<b>1.614.730</b>	<b>1.124.000</b>

**Tabla 8.- Producción apícola en España en el año 2003**  
**Fuente: Elaboración del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.**

La mayor producción de miel se da en Andalucía, seguido por las comunidad autónoma de Valencia, Extremadura y Castilla-León. Esta tendencia está directamente relacionada con el número de colmenas que existen en cada comunidad, excepto que Extremadura y Castilla-León intercambian los puestos, pero la producción de miel no mantiene ésta relación si se observa el número de apicultores, siendo la comunidad con mayor número Castilla-León, seguida de Galicia que, sin embargo, ocupa el octavo lugar en producción de miel a nivel nacional. Por otra parte, Extremadura destaca si se tiene en cuenta la producción de cera de abeja y polen, quedando Andalucía por detrás en producción de cera, y en tercer lugar, después de Castilla-León, en producción de polen.

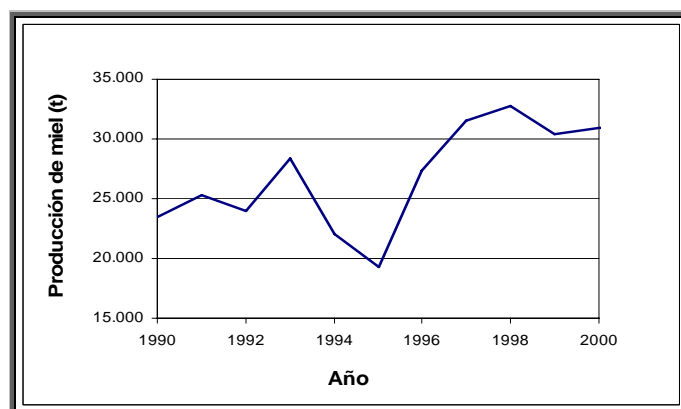
A continuación se puede observar más claramente la producción de miel en cada comunidad autónoma en la siguiente gráfica.



**Figura 2. Producción de miel en España en el año 2003.**

**Fuente: Elaboración del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.**

Para conocer la evolución que ha experimentado España en la producción de miel a lo largo de una década se puede observar la siguiente gráfica.



**Figura 3. Serie histórica de la producción de miel en España.**

La producción de miel en España se ha incrementado considerablemente en sólo una década. Como se puede ver en la gráfica anterior en 1990 no alcanzaba las 25.000 toneladas y en el año 2000 superaba las 30.000 toneladas, aunque de todas formas, el valor de la producción puede oscilar significativamente de un año a otro debido al comportamiento del tiempo durante la temporada o a la presencia de plagas.

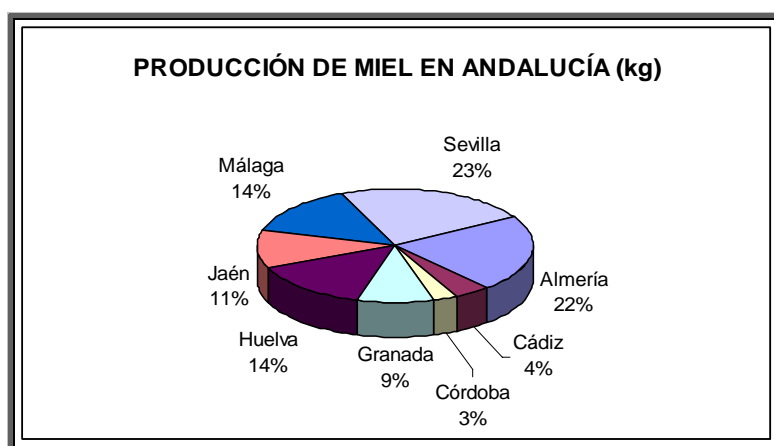
En cuanto a variedades de miel en España se pueden destacar las siguientes variedades en diversas zonas geográficas:

- romero: en Andalucía, Ciudad Real, Cuenca, Teruel, Albacete y Guadalajara;
- azahar: en Castellón, Valencia, Alicante, Murcia y Andalucía;

- eucalipto: Huelva y Badajoz;
- cantueso: Madrid, Toledo, Ávila;
- espliego y tomillo: Soria, La Rioja, Burgos, Guadalajara y Teruel;
- brezo: Soria, Burgos, La Rioja, Guadalajara y Palencia.

Dadas las condiciones naturales altamente favorables para la explotación apícola en España, debido a su excelente clima y abundante flora que abastece a las abejas de néctar y polen de elevada calidad y cantidad, se logran obtener mieles de color, densidad y aroma que son consideradas unas de las mejores del mundo.

Con respecto a la comunidad autónoma de Andalucía la producción de miel se divide por todas las provincias de la forma en que se puede ver en el siguiente gráfico.



**Figura 4. Registro apícola andaluz en el año 2003.**  
Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

#### ➤ Consumo

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación el consumo de miel está en torno a 400 y 500 gramos por habitante y año, lo cual no es muy alto. En la actualidad se va tendiendo hacia mieles de una mayor calidad, diferenciadas, con mayor garantía y mejor producidas.

Por comunidad autónoma, el mayor consumo de miel se localiza en Asturias, seguida de Cantabria y Baleares. En el extremo opuesto se sitúan Castilla-La Mancha, Murcia y Madrid.

En millones de kilos					Kilos	% S/Total cantidad comprada		
	Hogares	Hostelería y restauración	Instituciones	Total cantidad comprada	Total per cápita	Hogares	Hostelería	Instituciones
<b>MIEL</b>	20,89	0,86	0,09	21,84	0,5	95,7	3,9	0,4

**Tabla 9.- Consumo de miel en España en el año 2004.**  
**Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.**

Como se puede observar en la tabla anterior, el mayor consumo de miel se da en los hogares, 95,7%.

### **3.1.5. Beneficios del consumo de miel**

La miel es conocida ampliamente como edulcorante. En menor medida se la conoce como expectorante, suavizante de la garganta y vías respiratorias, y mucho menos como cicatrizante.

Posee numerosas propiedades tanto terapéuticas como nutricionales. La miel virgen contiene enzimas que ayudan a la digestión, así como diversas vitaminas y antioxidantes.

Este producto natural es un alimento incomparable para los niños, ancianos y reconstituyente para los deportistas y personas que se sientan fatigados. Además, es un producto que entra a formar parte de numerosas recetas de cosmética y belleza natural.

Se dice que el simple consumo regular de miel ejerce una acción positiva sobre los corazones castigados por el estrés. La miel aumenta la cantidad de glucógeno disponible en el hígado y ejerce una acción hepato-protectora.

Actúa muy favorablemente en enfermedades de estómago y como un sedante sobre todo el cuerpo.

Las propiedades más representativas se mencionan a continuación :

- Es de fácil asimilación debido a posee hidratos de carbono de cadenas cortas.
- Al ser rica en azúcares como la fructosa, la miel es higroscópica (absorbe humedad del aire), por lo que añadir una pequeña cantidad a panes y pasteles hace que estos endurezcan más lentamente.

- Al contener enzimas, vitaminas y antioxidantes ayuda, entre otras cosas, a la digestión y asimilación de alimentos (en el caso de los niños facilita la asimilación de calcio y magnesio).
- Mejora la conservación de los alimentos.
- Posee mayor poder edulcorante que el azúcar.
- Es un suave laxante, regula el funcionamiento intestinal.
- Posee propiedades sedantes (favorece la absorción de triptófano que es precursor de la serotonina).
- Es antihemorrágica, antianémica, antiséptica, antitóxica, emoliente y antipirético.
- Mejora el rendimiento físico, especialmente, en los deportistas.
- Se utiliza para el tratamiento de faringitis, laringitis, rinitis, gripes, estados depresivos menores, úlceras, gastritis, y quemaduras, entre otras.
- Es utilizada para el tratamiento de personas que padecen astenia o estados de cansancio tanto en la esfera física como psíquica y en la desintoxicación de alcohólicos.
- Estimula la formación de glóbulos rojos debido a la presencia de ácido fólico.
- Se puede usar externamente debido a sus propiedades antimicrobianas y antisépticas. Así, usar miel a modo de crema, ayuda a cicatrizar y a prevenir infecciones en heridas o quemaduras superficiales.
- Se utiliza en cosmética debido a sus cualidades astringentes y suavizantes (cremas, mascarillas para limpieza facial, tónicos, etc.)

### **3.1.6. Productos elaborados a partir de miel**

La miel además de ser rica principalmente en azúcares, posee proteínas, vitaminas y otras sustancias que le confieren propiedades terapéuticas y presenta numerosas alternativas de uso, que se enumeran a continuación:

- Se puede utilizar en la industria de las salsas para homogeneizar los productos.

- Brinda aroma y sabor a los alimentos (derivados de la leche, masas, caramelos).
- Puede ser incorporada a los sistemas grasos (manteca, chocolate).
- Puede ser incorporada a otros alimentos sin alterar su pH.
- Posee propiedades coloidales que mejoran el cuerpo y el gusto de los productos (jugos de frutas, yogurt, budines).
- La miel es higroscópica, su contenido de fructosa atrae la humedad y se puede usar para productos horneados.
- Posee propiedades edulcorantes (1,5 veces mayor actividad que el azúcar).
- Aumenta el volumen de los alimentos.
- Aumenta la conservación de las frutas secas, carnes, ensaladas.
- Posee propiedades de ablandamiento (conserva y ablanda las carnes).
- Mantiene las propiedades de frescura de los alimentos (helados elaborados con miel).
- Se utiliza en la industria en su presentación en polvo.

A base de miel se pueden preparar diversos productos alimenticios, bebidas, licores tales como mermeladas, arrope, caramelos, bombones, turrone, crema de miel, dulce de leche, cremas heladas, lactomiel (mezcla homogeneizada de leche y miel), vinos o hidromieles, vinagre de miel, etc.

A continuación se citan algunas bebidas realizadas a base de miel:

- Ponche: resultado de mezclar leche caliente, miel, huevo batido y vino o coñac.
- Aloja: Antigua bebida de la época del Quijote hecha a base de agua, miel y especias aromatizadas.
- Sorbete de miel: miel, zumo de frutas, leche y claras de huevo.
- Orujo con miel: esencias (canela y clavos) y la piel de limón, orujo, miel.

## 3.2 HIDROMIEL

### 3.2.1. Definición y tipos

Con la denominación de hidromiel se entiende la bebida procedente de la fermentación alcohólica de miel diluida en agua.

Se trata de la primera bebida alcohólica que se conoce, anterior al vino y probablemente precursora de la cerveza. En muchos lugares la hidromiel se conoce como “vino de miel”.

Antiguamente y de forma artesanal la elaboración de la hidromiel se realizaba a partir de una mezcla de miel y agua que, posteriormente, se dejaba fermentar.

Fue utilizada por diversas civilizaciones antiguas: celtas, griegos en la Edad Media y bárbaros, en Europa; por los mayas, en América; por los vikingos, en Escandinavia, donde la uva no prosperaba.

El consumo de hidromiel comenzó a decrecer por la expansión de la vitivinicultura y también por el aumento de consumo de cerveza desde los primeros tiempos de la agricultura medieval.

En los Estados Unidos, Inglaterra e Irlanda, se elabora el honey brandy, una especie de brandy de miel.

El proceso de elaboración de la hidromiel es similar al del vino y actualmente en la mayoría de los países se emplean las levaduras del género *Sacharomyces* para producir la fermentación.

Contrariamente a lo que sucede en otros países, en los que la miel y sus derivados tienen cierta consideración, la hidromiel en España no tiene gran difusión pero se trata de una alternativa que ofrece un producto muy valorado desde el punto de vista medicinal y gastronómico.

En su elaboración, de forma artesanal, se obtiene una hidromiel de graduación alcohólica entre 12-15°. Partiendo de una disolución de miel de aproximadamente 0,3 kg/L disolución (30 kg miel en 100 L disolución), la bebida que se obtiene presenta con un contenido de alcohol alrededor de 12-14°, dulce, de color dorado pálido donde predominan los reflejos color ámbar con diferentes tonalidades y brillante, parecido a la cerveza. Presenta un aroma suave.





**Figura 5. Fotografía de una hidromiel comercial.**

Existe una gran variedad de hidromieles: desde livianas, licorosas y de mesa, hasta de postre, secas, semi-secas, dulces y champanizadas.

Se reconocen tres categorías de hidromiel y cada una tiene sub-categorías. La importancia de estas divisiones es que ayudan a entender la enorme variedad de sabores que la hidromiel puede asumir.

Las categorías son:

- Tradicional: Agua, miel y levaduras. Para muchos recuerda al vino Riesling o Chardonay pero con un sabor propio único.

- Melomel: Hidromiel saborizada con frutas tales como manzana, uva o con cereales tales como cebada malteada y lúpulo.

- Methelglin e hippocras: Hidromieles especiadas que han sido originalmente creadas para cubrir el sabor indeseable que se generan a causa de las probables alteraciones que debe haber sufrido la hidromiel durante el curso de su elaboración. Esta categoría incluye sabores tales como lavanda, vainilla, jazmín, etc.

Totalmente análogo con lo que sucede con los vinos de uva: diferentes variedades, diferentes características organolépticas. Teóricamente, existen tantas variedades de hidromiel sobre la tierra como tipos de néctar que producen las flores. Cada variedad tiene su característica distintiva de sabor y aroma que constituye su esencia.

### **3.2.2. Legislación sobre hidromiel**

En nuestro país no existe una tradición en el consumo de hidromiel, por lo tanto no se elaboran a nivel industrial; lo contrario ocurre en otros países como por ejemplo Argentina, donde la hidromiel está recogida en su código alimentario.

### 3.2.3. Consumo y producción de hidromiel

Algunos investigadores, entre ellos G. R. Morse, que han indagado profundamente en la historia y en el presente de la hidromiel señalan que aunque se da la competencia de otras bebidas alcohólicas fermentadas, de modo especial el vino, la hidromiel persiste a través del tiempo, debido a la paulatina mejora en las técnicas de su elaboración. Es valorada como una sustancia orgánica elaborada con una materia prima de primer nivel.

En su libro *Honey, a comprehensive survey*, Eva Crane ofrece un paronama de la producción de hidromiel en el mundo hace algunos años. En Europa, que fue la cuna de esta bebida, dicha producción era pobre. En Inglaterra existe una sola firma dedicada a su elaboración; en Francia, Maugenet (1994) informa que no sobrepasa los 3000 hectolitros y que se trata de un producto para uso casero. Por el contrario, los países de la Europa Oriental se han mantenido más fieles a la tradición. Así, en Cracovia, Polonia, hay una cooperativa apícola que produce dos tipos de hidromiel y los métodos utilizados en la elaboración son los tradicionales.

En países desarrollados como Inglaterra, Dinamarca, Polonia, Rusia, y otros la hidromiel se produce a escala industrial.

En Canadá existe un importante mercado de pequeños productores que elaboran hidromiel y aproximadamente unos 90 productores y elaboradores de hidromiel operan en los Estados Unidos, y la hidromiel tiene un considerable segmento del mercado en Norte América.

En Latinoamérica el país que más ampliamente produce hidromiel de forma tradicional es Uruguay, aunque existen pequeñas producciones en otros lugares.

En países que son grandes productores de miel como México y en menor escala Colombia y Venezuela, donde las condiciones climáticas no son propicias para un buen desarrollo de la vid, la producción de hidromiel a nivel industrial se plantea como un nuevo mercado hacia el que dirigir a los productores de miel.

En África, la hidromiel es todavía una parte importante de la cultura local y tradición, y en algunos países, como en Etiopía, la hidromiel sigue siendo la bebida nacional del país, pero sólo se produce de forma tradicional y para consumo propio.

La demanda global de bebidas como el vino, pero procedentes de materias primas distintas a la uva (como puede ser la hidromiel) y las preferencias del consumidor por variedades únicas están aumentando y el potencial de estas bebidas en

el mercado global puede ampliarse más allá de su estado actual como producto de elaboración y consumo doméstico.

En muchos mercados internacionales la hidromiel sigue siendo una industria de campo o producto de elaboración casera. La demanda de este producto está generalmente cubierta por la producción casera que fabrican hidromiel para satisfacer sus propias necesidades. Sin embargo, la mera existencia de una población tan interesada en ella demuestra un potencial para que la hidromiel capture un poco de la cuota del mercado de la gente que conoce el producto.

Varios países europeos poseen una larga historia y cultura de producción de hidromiel, y aún hoy en día mantienen una pequeña cuota del mercado. Ejemplo de estos países pueden ser Alemania, Italia, Bielorrusia, Rusia y Ucrania.

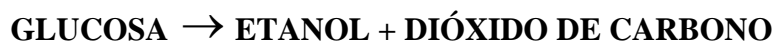
Actualmente se elabora hidromiel en algunos puntos de Centro Europa, Alemania y Francia, pero en España apenas hay empresas que se dediquen a su producción. Se tiene conocimiento de una empresa gallega<sup>4</sup>, pionera en España en la producción de hidromiel de forma artesanal, y de tradición familiar en la extracción y envasado de miel.

#### **3.2.4. La fermentación alcohólica de la miel**

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico llevado a cabo por las levaduras (microorganismos unicelulares), mediante el cual transforman la glucosa en alcohol para obtener energía. La mayor parte de las cepas fermentativas pertenecen al género *Saccharomyces* y casi siempre a la especie *Saccharomyces cerevisiae*.

La fermentación alcohólica es la base de la elaboración de productos con graduación alcohólica; sin embargo, su importancia no radica únicamente en la obtención de etanol a partir de los azúcares que se encuentran en el medio, sino que además durante el proceso fermentativo se van a formar una gran cantidad de productos secundarios que influyen en la calidad y tipicidad del producto resultante.

La reacción puede representarse básicamente como:



---

<sup>4</sup> Mieles Outeda, S.L.

Durante los primeros días del proceso tiene lugar la fermentación tumultuosa, en la que la actividad de las levaduras es máxima. Coincide con el momento de descenso de densidad más brusco y con el máximo desprendimiento de dióxido de carbono e incremento de la temperatura (liberación de energía, proceso exotérmico).

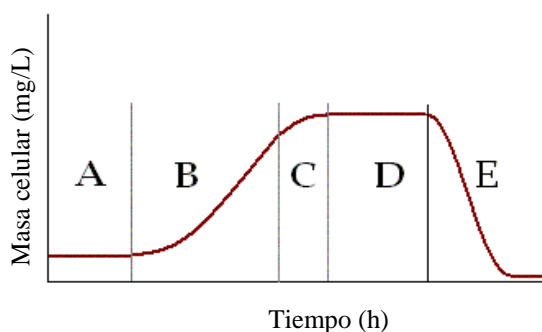
Después el nivel de nutrientes del medio desciende, apenas queda azúcar por consumir y el alcohol empieza a ser tóxico para las levaduras. Entonces, la actividad fermentativa se ralentiza y el descenso de densidad es muy lento, reduciéndose el desprendimiento de carbónico y manteniéndose la temperatura.

### 3.2.3.1. Fases generales del crecimiento de levaduras en cultivo discontinuo.

Las levaduras durante la fermentación alcohólica atraviesan por una serie de fases:

- A.- Fase latente.
- B.- Fase exponencial.
- C.- Fase de deceleración.
- D.- Fase estacionaria.
- E.- Fase de declive o muerte celular.

En la gráfica que se ilustra pueden observarse las fases del crecimiento microbiano.



**Figura 6. Crecimiento microbiano en función del tiempo.**

En la primera fase, llamada fase latente (A), el crecimiento microbiano es casi imperceptible. Se dice que durante esta fase los microorganismos están en una etapa de adaptación a las condiciones ambientales que le rodean.

Luego viene una fase de crecimiento que sigue un patrón exponencial (B).

Después de la fase exponencial se encuentra una fase de deceleración (C), caracterizada por el agotamiento del sustrato y efectos tóxicos del etanol sobre las levaduras, donde la razón de producción de masa celular por unidad de tiempo va disminuyendo. Se entra entonces a la fase estacionaria (D) (crecimiento celular=muerte celular) donde no hay cambios considerables en la población total de microorganismos.

Finalmente, cuando el sustrato se acaba, se comienza una fase de declive (E) donde se reduce la población microbiana por lisis celular.

En los procesos comerciales se debe hacer todo lo posible para reducir el tiempo de la fase de latencia, pues los costos de producción aumentan en función del tiempo que dure el proceso.

Como todos los seres vivos, las levaduras tienen unas condiciones óptimas de crecimiento en cuanto a nutrientes y al medio en el que viven. Así, son muy sensibles a la temperatura, oxígeno, al contenido de azúcar, sustancias nitrogenadas y otros. En general, cuanto más elevado sea el grado alcohólico deseado en el vino, más necesario es que las levaduras se desarrollen en las condiciones óptimas.

### 3.2.3.2. *Variables que influyen en la fermentación alcohólica*

#### ➤ **Temperatura**

La fermentación alcohólica es un proceso exotérmico y libera energía al medio en forma de calor. Por cada mol de azúcar se desprenden teóricamente 25 kcal.

Las levaduras son muy sensibles a la temperatura, por tanto, es ésta una de las variables a controlar en un proceso de fermentación. Un aumento de la misma produce un aumento de la velocidad de fermentación, sin embargo, se produce menos etanol (menor grado alcohólico final) y más cantidad de compuestos secundarios que a menudo no conllevan una mejora en la calidad de la hidromiel. Además, el aumento de temperatura también afecta a las propiedades organolépticas, ya que las altas temperaturas que se pueden alcanzar suponen una pérdida de aromas.

En casos extremos puede ocurrir incluso la parada del proceso de fermentación por un aumento excesivo de la temperatura, ya que por encima de 35°C la actividad decrece rápidamente, y por el contrario, por debajo de los 15°C la mayor parte de las levaduras son inactivas.

Para un buen desarrollo de la fermentación alcohólica, la temperatura debe mantenerse a valores próximos a la temperatura óptima del crecimiento de las levaduras (25° C), permitiendo ésta obtener además hidromieles con aromas más intensos y armoniosos.

➤ **pH**

Las levaduras fermentan mejor en medios neutros o poco ácidos que en medios ácidos, donde el crecimiento microbiano no se ve favorecido. Se considera que los niveles óptimos de pH para el crecimiento de las levaduras se encuentran entre 4,0-6,0, sin embargo, es conveniente reducir éste para evitar el crecimiento de otro tipo de microorganismos más sensibles a pH bajos.

➤ **SO<sub>2</sub>**

Se añade frecuentemente en la elaboración de hidromieles para controlar la presencia de microorganismos no deseables, debido a su efecto antiséptico. Su actividad es mayor sobre bacterias que sobre levaduras, pero en cualquier caso la inhibición depende de la dosis, ya que una dosis elevada puede producir incluso la total destrucción de la población microbiana. Por otra parte, una cantidad moderada (50 mg/L) tiene un efecto beneficioso sobre las levaduras, acelerando la velocidad de fermentación.

➤ **Oxígeno**

Aunque la fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico, las levaduras tienen necesidades precisas de oxígeno para multiplicarse. En caso de carencia de este oxígeno, es suficiente proporcionar un poco de aire para evitar la parada de la fermentación alcohólica, pero si el estado es de anoxia su reproducción se detiene.

La velocidad de la fermentación depende estrechamente de las condiciones de aireación y se realiza más deprisa cuanto mejor aireado está el medio, pero también incide negativamente, produciéndose pérdidas volátiles por evaporación.

➤ **Exceso de azúcares**

Los azúcares del medio fermentativo son los que van a determinar la duración de la fase de multiplicación celular, de la fase estacionaria y de la fase de muerte. La velocidad de fermentación está influenciada por la concentración de azúcares, de manera que concentraciones iniciales muy altas de azúcares (superior a 200 g/L) disminuirán la velocidad de fermentación y a concentraciones de azúcares en torno a 600 g/L no es posible la fermentación del medio.

➤ **Nitrógeno**

Las levaduras están constituidas por un 25-60% de materias nitrogenadas. Por tanto, necesitan encontrar en el medio suficiente nitrógeno “asimilable”, constituido por nitrógeno amoniacal y aminoácidos, para su desarrollo. La cantidad de  $\text{NH}_4^+$  necesario para las levaduras se sitúa alrededor de los 25-30 mg/L en el medio, si esta cantidad es menor de 25 mg/L puede aumentar el tiempo de latencia e incluso producirse una parada fermentativa.

### **3.2.5. Clarificación**

Es normal que las hidromieles después de la fermentación aparezcan turbias. Con el tiempo se produce una sedimentación natural, y las partículas en suspensión caen por gravedad.-

Por lo tanto, tras la fermentación debe realizarse la operación de deslío, que consiste en la separación de las lías y sólidos que contiene el producto fermentado transcurrido un tiempo para obtener un producto con menor turbidez.

Las lías son sustancias sólidas (sobre todo restos de levaduras) acumuladas en el fondo de los depósitos tras la fermentación de la hidromiel.

Esta operación de decantación de una hidromiel no es más que la operación de trasiego de una hidromiel limpia a otro recipiente con el fin de eliminar depósitos sólidos (y microorganismos) alojados en el fondo una vez hayan precipitado.

### 3.3 VINAGRE DE MIEL

#### 3.3.1. Introducción

Si se considera la hidromiel la bebida alcohólica más antigua, en consecuencia el vinagre de miel es el primer vinagre utilizado por el hombre, y es también llamado “el vinagre de los antiguos egipcios”.

Sin embargo, en aquellos tiempos no se elaboraba conscientemente, sino que era fruto de circunstancias casuales, y hubo que esperar hasta Louis Pasteur para conocer la existencia de los microorganismos que producían esta transformación.

En algunos países, la única razón de la disminución en el uso de este producto no está en la calidad sino en el alto precio de la materia prima, el cual está justificado por el alto valor biológico de la miel, y sólo considerando el tipo de azúcares se puede afirmar la superioridad del vinagre de miel en comparación con los elaborados de un solo fruto (por ejemplo, manzana).

Se trata de un vinagre de color ambarino, brillante y muy aromático.

Si bien en la normativa española el vinagre de miel está considerado, no existe una tradición en el consumo, y, por lo tanto, tampoco existe una gran producción a nivel industrial. En otros países, principalmente en el norte de Europa, presenta mayor relevancia y, así, el interés por este producto está aumentando considerablemente en países como Argentina.

La normativa española es la “*Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración y Comercialización de los Vinagres*”, aprobada en el Real Decreto 2070/1993, de 26 de Noviembre de 1993, donde se define el vinagre como “el líquido apto para el consumo humano resultante de la doble fermentación alcohólica y acética de productos de origen agrario que contengan azúcares y sustancias amiláceas”.

El vinagre de miel puede utilizarse para aliñar ensaladas, elaborar o acompañar guisos, vinagretas, salsas agrídulces, etc. incluso aunque parezca extraño como bebida refrescante acompañado de agua fría y miel. En publicaciones de reconocido prestigio, que tratan de productos naturales, se indica que en su composición intervienen una serie de oligoelementos y sales minerales necesarios para el organismo, así como que su flora bacteriana es similar a la del intestino humano. Y es uno de los mejores vinagres utilizado por prestigiosos cocineros en sus especialidades.



### ***Otros tipos de vinagre***

- Vinagre de vino.

Los vinagres de vino son los más utilizados en nuestro país, pudiendo encontrar a su vez distintos tipos: vinagre de vino blanco, tinto o espumoso (de cava), aunque en realidad se pueden encontrar tantos tipos de vinagre como tipos de uva existen. Este tipo de vinagre se utiliza principalmente para aliños, marinadas y salsas.

- Vinagre de sidra o manzana: es un vinagre hecho de jugo de manzana por la fermentación alcohólica y subsiguiente acetificación. El uso del vinagre de manzana también se halla muy difundido, su color es amarillo anaranjado, y es menos ácido que el de vino, por eso se recomienda su uso para la elaboración de platos dulces y guisos a base de cerdo.

Aunque el jugo de manzana es el más usado para hacer vinagre en los Estados Unidos y otros países, hay muchos jugos de frutas satisfactorios como los de de bananos, naranjas, nísperos, piñas, zarzamoras, etc. Cualquier fruta o vegetal que contenga bastante azúcar sirve para este propósito.

- Vinagre de malta: hecho por fermentación alcohólica y posteriormente acetificación sin destilación de una infusión de malta de cebada o de otros cereales, en el que el almidón se convierte en maltosa. Se halla muy extendido en el resto de los países de Europa (donde no se elabora vino), tiene un sabor ligeramente amargo y un fuerte aroma, ideal para el condimento de frutas y verduras, y para la elaboración de escabeches y adobos.

- Vinagre de caña de azúcar: es el vinagre hecho por fermentación alcohólica y acética de soluciones de azúcar, siropes o melazas. Se usa para la elaboración de escabeches y adobos.

- Vinagre de arroz: elaborado por fermentación alcohólica y acética de azúcares derivados del arroz o concentrado de arroz sin destilación. El consumo de vinagre de arroz es muy popular en los países asiáticos donde el arroz se cultiva en abundancia. Este tiene un punto de acidez muy peculiar y le da un sabor muy interesante a los platos condimentados con jengibre o soja.

- Vinagre aromatizado: es aquel al que se ha añadido varias especias o hierbas. El más conocido es el que incorpora eneldo o estragón. Se trata de cualquier

caldo que se puede aromatizar o condimentar con hierbas aromáticas como el romero, el tomillo, la albahaca e incluso con el azúcar o la miel.

### **3.3.2. Producción y consumo**

Según la información recopilada esta bebida se elabora a escala artesanal destinándose principalmente al consumo familiar, aunque empiezan a aparecer en el mercado pequeñas empresas que pretenden diversificar sus productos y que ya ocupan un puesto en el mercado de la miel.

Así, en España, la empresa *Mieles Outeda* elabora vinagre de miel de forma artesanal con un método lento y tradicional, en el que se deja que la hidromiel se acetifique muy lentamente en condiciones de temperatura y humedad adecuadas y que envejezca hasta obtener la calidad óptima.

### **3.3.3. Fermentación acética**

La fermentación acética es la fermentación bacteriana por *Acetobacter*, un género de bacterias aerobias, que transforma el alcohol en ácido acético. Dichas bacterias son microorganismos vivos que, al igual que las levaduras, son sensibles a las condiciones del medio y necesitan ciertos nutrientes para su adecuado desarrollo.

Este proceso aerobio es una oxidación parcial que transcurre en un medio fermentativo procedente de diversos sustratos alcohólicos, cuyo resultado es una disolución con un alto contenido en ácido acético y cantidades residuales de etanol no convertido, además de una gran diversidad de compuestos secundarios que proceden de las distintas rutas metabólicas de los microorganismos implicados.

Básicamente la reacción que tiene lugar es:



A nivel industrial la tecnología más empleada es la de acetificadores de cultivo sumergido, el cual básicamente es un recipiente en el que se mantienen controladas las

condiciones adecuadas para que se desarrollen las bacterias acéticas, a un ritmo acelerado. Estas condiciones, que incluyen suficiente suministro de oxígeno y temperatura constante, se enumeran en el siguiente apartado.

### **3.3.3.1. Variables que intervienen en la fermentación acética.**

La fermentación acética se ve influenciada por una serie de variables, que se comentan a continuación.

#### **➤ Temperatura**

Las bacterias acéticas, al igual que el resto de microorganismos, poseen un rango de temperaturas en el cual es posible su crecimiento y un óptimo en el cual dicho crecimiento es máximo.

En general, la temperatura óptima del proceso de fermentación acética depende también de la composición del medio de partida, pero se puede considerar en torno a 31°C.

La sensibilidad de las bacterias a la temperatura es tal que a menos de 26°C su actividad disminuye considerablemente y a más de 35°C el crecimiento se inhibe totalmente.

#### **➤ Acidez- pH**

La actividad metabólica y el crecimiento de las bacterias acéticas están favorecidos en el rango de pH comprendido entre 5.0 y 6.5, aunque la capacidad de éstas bacterias para sobrevivir y crecer puede darse a 3.0 y 4.0 de pH. Se supone que ésta capacidad de supervivencia disminuye cuando el pH se aproxima a los valores mínimos, así como del mismo modo, las necesidades nutricionales se incrementan, y también lo hace la sensibilidad a la concentración de etanol en el medio.

### ➤ Aireación-Oxígeno

El metabolismo de las bacterias acéticas es de tipo respiratorio, es decir, necesita el oxígeno para su crecimiento. En el otro extremo, un exceso de oxígeno disuelto en el medio puede tener un efecto tóxico y traer como consecuencia un aumento de las pérdidas de compuestos esenciales por evaporación.

La concentración en el medio que maximiza la actividad respiratoria se sitúa entorno a 1 ppm si en el medio hay ácido acético en concentraciones superiores a 40 g/L, y entre 3-7 ppm en ausencia de ácido.

Por tanto, es imprescindible un efectivo y continuo aporte de oxígeno al medio de fermentación para un buen desarrollo del proceso.

### ➤ SO<sub>2</sub>

A las concentraciones residuales en las que se encuentra en los vinos tras la fermentación alcohólica no inhibe significativamente el crecimiento bacteriano. Se han registrado datos de crecimiento de *Acetobacter aceti* en medios que contienen 25 mg/L de SO<sub>2</sub> libre.

### ➤ Alcohol

En la fermentación acética el sustrato principal es el etanol presente en el medio de fermentación. La cantidad de alcohol que se convierte en ácido acético está aproximadamente entre 88-90%, el resto del alcohol se utiliza en el metabolismo primario o escapa con los gases de salida.

El alcohol debe estar en unas proporciones adecuadas para favorecer el crecimiento microbiano, puesto que existe numerosa bibliografía el carácter tóxico del etanol en las bacterias a partir de ciertas concentraciones. En general, a concentraciones por encima de 40 g/L el crecimiento microbiano se inhibe considerablemente.

### **3.3.3.2. Fases de crecimiento de las bacterias acéticas en cultivo discontinuo.**

Sigue el mismo modelo de crecimiento descrito en el *Apartado 3.2.3.1. Fases generales del crecimiento de levaduras en cultivo discontinuo.*

### **3.3.4. Clarificación y microfiltración tangencial**

Con el nombre de clarificación se define cualquier operación que conduzca a obtener un líquido limpio.

Se define la microfiltración como un sistema de separación de dos fases al pasar a través de un medio poroso, bajo la acción de un gradiente de presión, con el fin de obtener un líquido limpio exento de partículas que lo enturbien.

En los sistemas de filtración clásicos, placas filtrantes o membranas, el líquido a filtrar es conducido perpendicularmente a la superficie filtrante. Este tipo de filtración conlleva una acumulación de partículas y microorganismos que conducen a la formación de una capa creciente sobre la superficie de filtración que puede determinar la eficacia de la separación. La capa puede aumentar la resistencia hidráulica de filtración de tal manera que se hace necesario una renovación del medio filtrante.

En la filtración tangencial, el flujo de alimentación se conduce paralelamente a la superficie de la membrana con el fin de evitar la acumulación de depósitos en la superficie de la membrana filtrante. Esta técnica de separación opera barriendo de la superficie de la membrana las moléculas o células retenidas, manteniendo en suspensión permanente todas las moléculas, microorganismos o partículas contenidas en el líquido a procesar. Este efecto de barrido aumenta el caudal, el rendimiento y la recuperación.

Análogamente a la filtración clásica, la membrana de microfiltración tangencial presenta una resistencia que se traduce en una pérdida de carga entre el retenido que circula y el permeado que sale del sistema.

### 3.4 JUSTIFICACIÓN DEL INTERÉS DEL PROYECTO

Desde hace ya años la innovación en la restauración está experimentando un enorme cambio y el afán por la búsqueda de nuevos sabores y combinaciones de los mismos para asombrar al consumidor es cada vez mayor.

En la actualidad el vinagre ha cobrado gran importancia dentro de la gastronomía, hasta el punto de contar con una extensa variedad para el más exigente de los paladares. Este apreciado condimento ha sido utilizado por el hombre desde la antigüedad, pues hay constancia de que ya era utilizado por los escandinavos y romanos.

El pilar básico de la economía serrana de la provincia de Cádiz es el sector primario, encabezado por la ganadería (donde se encuentra incluida la apicultura) y seguido por la agricultura, encontrando que industria y servicios están por debajo de la media provincial.

La pérdida de valor económico del uso que se hacía de la sierra ha resultado ser el principal problema para el medio ambiente, debido a que se permite el avance del matorral o el envejecimiento de encinas y alcornoques, con lo que pierde calidad su amplio muestrario de efectos beneficiosos. Y, por supuesto, esta situación repercute sobre una bajada en la calidad de vida en los pobladores de la sierra, como demostró la tremenda emigración de los años 60.

La garantía de ingresos que supone la sierra está en crisis, y el resto de aprovechamientos posibles en la comarca no se han desarrollado o incluso han desaparecido. La riqueza natural de la Sierra está todavía a la espera de que se rentabilice. Todos los expertos coinciden en la potencialidad de las setas, plantas aromáticas y medicinales, productos naturales y caza, sin olvidar el factor de calidad que se puede añadir para valorar mejor los típicos productos serranos.

Los aprovechamientos de esta tierra han encontrado un filón en el turismo gastronómico y de naturaleza, el sector económico de más empuje en nuestra sociedad del ocio. La prestación de servicios turísticos parece uno de los futuros más nítidos para los pobladores del Parque Natural como renta complementaria.

La miel es uno de los productos más tradicionales y exquisitos de la Sierra. Aún son muchísimos los habitantes que continúan con el cuidado de algunas colmenas, tanto como costumbre heredada de sus mayores como para el consumo doméstico del producto.

La miel típica de la comarca es la denominada milflores o de monte, realizada con la libación<sup>5</sup> que hacen las abejas de la extraordinaria variedad de flores (romero, lavanda, tomillo, jara, ...) que se abren en el campo cuando llega la primavera. Es un producto artesanal, comercializado con marca propias y no a gran escala.

La apicultura significa en la sierra unos ingresos económicos complementarios; nunca el medio de vida exclusivo. Cuando llega la época algunas empresas colmeneras colocan colmenas en algunos puntos seleccionados, pagando alguna cantidad al dueño del terreno.

La apicultura no sólo tiene la potencialidad de convertirse en unos ingresos importantes para la Sierra, cuando el producto se transforma in situ, sino que tiene un gran valor ecológico, por la polinización que hacen las abejas de las plantas, clave para su reproducción y la diversidad genética.

Así, el objetivo de este proyecto es producir vinagre utilizando miel como substrato, y ofrecer a los productores de miel una alternativa para diversificar su producción y suministrar al mercado nuevos productos.

---

<sup>5</sup> las abejas extraen el néctar de las flores.

## 4. PROCESO PRODUCTIVO

### 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

La planta industrial está diseñada para una producción máxima de 35 m<sup>3</sup>/año de vinagre de miel.

Consta de dos naves diferenciadas y separadas:

La nave I donde se lleva a cabo la fermentación alcohólica, en la cual se tienen los depósitos de almacenamiento de la materia prima (uno para la miel, de una capacidad de 6 m<sup>3</sup> y otro para el agua de 1 m<sup>3</sup>), un fermentador alcohólico de 1 m<sup>3</sup>, un decantador y separador de las lías de 1 m<sup>3</sup>, y un depósito de almacenamiento de la hidromiel de una capacidad de 5 m<sup>3</sup>.

La nave II consta de un reactor para la fermentación acética de 1 m<sup>3</sup> de capacidad, un mezclador de 5 m<sup>3</sup> para mezclar el vinagre procedente del fermentador con miel, así como un equipo de filtración tangencial.

La secuencia de las etapas del proceso es:

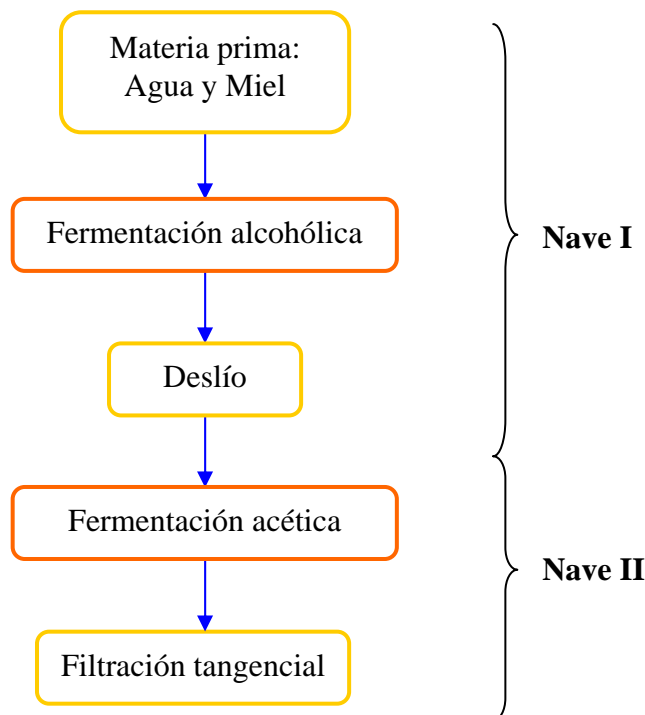
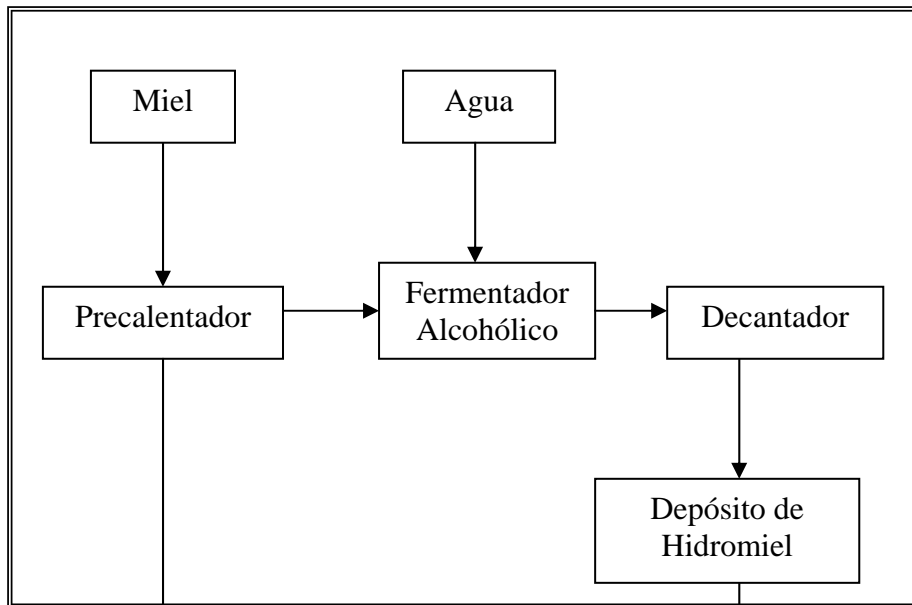


Figura 7. Secuencia de las etapas del proceso.



A continuación se muestra un esquema de cada nave donde se lleva a cabo cada proceso:

### Nave I



### Nave II

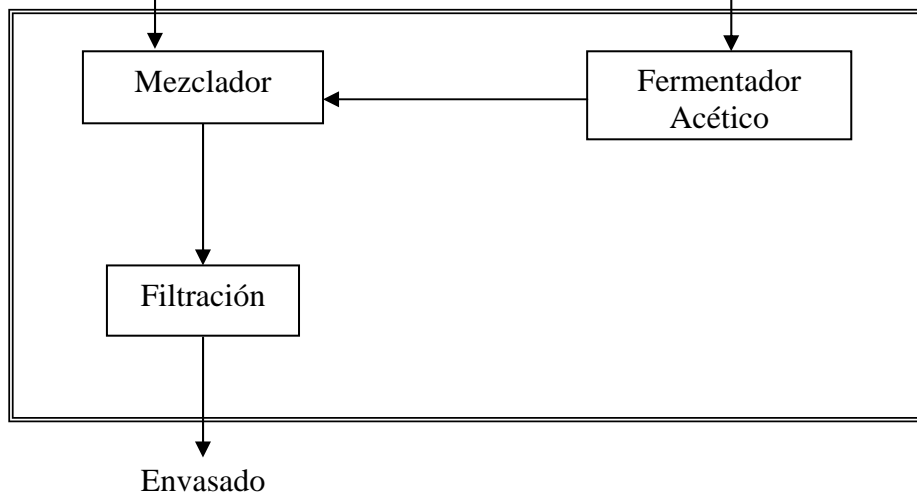


Figura 8. Diagrama de procesos.

La planta trabajaría en discontinuo (o por ciclos) debido al régimen de funcionamiento elegido para ambos fermentadores. Éstos son cargados con sus respectivas materias primas, se espera el tiempo adecuado para que transcurra cada fermentación y, cuando ésta ha concluido, se descarga el producto, volviendo a comenzarse un nuevo ciclo.

A continuación se describirán las materias primas, los equipos y unidades implicados en estos procesos.

## 4.2 LA MATERIA PRIMA

Se considerarán materias primas del proceso la miel y el agua.

### 4.2.1. *La miel*

La miel presentará las características propias de la miel de la Sierra de Cádiz: un contenido en azúcares entorno a 80° Brix y una densidad de 1,400 kg/l. Será una miel sin impurezas ni contaminantes que afecten al sistema de fermentación.

La planta está diseñada para almacenar en el depósito principal 6 m<sup>3</sup> de miel, cantidad que se estima suficiente para abastecer de materia prima al fermentador alcohólico durante 5 ciclos completos. El abastecimiento del depósito de almacenamiento está garantizado ya que la miel proviene de una planta anexa de la propia empresa, donde se envasa miel para comercializar.

La miel llegará al fermentador por medio de una bomba apta para el transporte de sustancias viscosas.

#### - Depósito de miel.

El depósito de miel tiene como objetivo almacenar la miel antes de que se lleve al precalentador para su posterior mezcla con el agua en el fermentador.

Se eligió un volumen de 6 m<sup>3</sup> para disponer de miel durante varios ciclos de producción. Las dimensiones de dicho depósito son:

$$\text{Diámetro, } D_i = 1,828 \text{ m}$$

$$\text{Altura del depósito, } H = 2,792 \text{ m}$$

Es un depósito cuyo fondo superior es elíptico, mientras que el fondo inferior se ha diseñado de forma cónica para facilitar la caída de la miel hacia la boca de salida.

En la salida inferior del depósito de miel se dispondrá de una resistencia eléctrica (cinta eléctrica) para facilitar la salida de la miel hacia el precalentador de

miel, en caso de que fuera difícil su transporte debido a su excesiva viscosidad cuando las temperaturas son bajas.

El material empleado para la construcción del depósito es acero inoxidable AISI 304L. El peso de dicho depósito está soportado mediante patas ancladas al suelo.

El espesor tanto de la envolvente como de los fondos del depósito es de 10 mm y la altura de la pestaña, es decir, la altura donde se llevará a cabo el solape mediante soldadura entre el cabezal y la envolvente es de 41 mm.

El fondo superior del depósito posee una conexión para la carga de la miel al depósito y en la parte inferior una conexión para la descarga. Se instalará un agitador de palas con motor en la parte superior para homogeneizar la miel cuando se abastezca al depósito. Dicho agitador es un agitador Helisem con una velocidad variable desde 40 a 173 rpm.

También dispone de varias mirillas repartidas a distintas alturas para conocer el nivel de miel que se tiene en el interior del depósito, puesto que en este caso no es necesario disponer de una medida exacta de la cantidad almacenada.

Además, en la parte baja de la envolvente, se tiene una boca elíptica con las dimensiones necesarias para el acceso del operario en caso de limpieza o mantenimiento.

- Precalentador de miel.

Es necesario calentar la miel para facilitar la mezcla con el agua antes de la fermentación alcohólica.

Desde el depósito de almacenamiento se bombean al interior del precalentador aproximadamente 110 L de miel para cada ciclo.

Se ha decidido calentar la miel a una temperatura aproximada de 28° C, al igual que el agua con la que se mezclará. Dicha temperatura no es excesivamente alta como para que se produzcan alteraciones en la miel. Cuando se transporte al fermentador habrá perdido varios grados de temperatura en las estaciones más frías del año, por lo que en ese momento tendrá una temperatura adecuada para que se dé el inicio de la fermentación alcohólica. Para épocas de altas temperaturas se podrá enfriar una vez mezclada en el fermentador.

El precalentador es un depósito con un volumen de 125 L con fondos elípticos 2:1. El material empleado para su construcción es acero inoxidable AISI 304L, al igual que el depósito de miel.

Las dimensiones del precalentador son:

$$\text{Diámetro, } D_i = 0,473 \text{ m}$$

$$\text{Altura, } H = 0,798 \text{ m}$$

El espesor del depósito es de 5 mm y la altura de la pestaña es de 25 mm. El peso de dicho depósito está soportado mediante patas ancladas al suelo.

Como sistema de calefacción el precalentador dispondrá de una camisa calefactora externa por la que circulará agua caliente. Dicha camisa es de acero inoxidable con aislamiento exterior y con dimensiones de 0,484 m de diámetro y una altura de 0,101 m. La circulación del agua caliente por el interior de la camisa será de abajo hacia arriba para asegurar que el agua está en contacto con la pared del precalentador y hay una correcta transferencia de calor hacia el interior.

Se opta por diseñar una camisa como sistema de calentamiento en vez de un serpentín debido a la viscosidad de la miel y a que sería difícil limpiar el serpentín en el interior del tanque. Además, el aumento de temperatura que se requiere es pequeño, por lo que la camisa será suficiente para la transmisión de calor requerida.

Para controlar la temperatura del agua de calefacción se dispone de un sensor de temperatura que asegurará que la miel no alcance temperaturas superiores a la establecida, y mediante un lazo de control se parará la circulación de agua caliente por la camisa cuando esto ocurra. Se explica con más detalle en el *Apartado 6.- Instrumentación y Control*.

Dispondrá de dos sensores de nivel: un sensor de nivel máximo y otro mínimo, para controlar la cantidad de miel que se carga y se descarga al interior del precalentador (explicado con más detalle en el *Apartado 6.- Instrumentación y Control*).

También dispone de agitador de palas superior, para asegurar una buena homogeneización de la miel, y placas deflectoras en las paredes del precalentador. El agitador será de la gama Helisem, pero en este caso será adecuado para depósitos de menor volumen.

Además, la parte superior tiene una boca elíptica con las dimensiones necesarias para el acceso de una mano o herramienta en caso de limpieza o mantenimiento.

El precalentador tiene una segunda función: suministrará la miel necesaria para mezclar con el vinagre de miel después de la fermentación acética. El objetivo de esta mezcla es disminuir el contenido de azúcares en el medio fermentativo, puesto que con un contenido muy alto de azúcares al inicio de la fermentación (entorno a 600 g/L) no sería posible la fermentación del medio.

Se tomará la miel procedente del precalentador y no directamente del depósito de miel para que el bombeo de dicha miel, menos viscosa, sea más fácil y pueda utilizarse una bomba de menor potencia que trasiegue la miel desde la nave I a la nave II.

#### **4.2.2. El agua de mezcla**

El agua como materia prima deberá tener calidad de agua potable y libre de sustancias dañinas a la fermentación.

El agua será calentada en el propio tanque de almacenamiento a una temperatura de 25° C, para que pueda mezclarse con la miel en el fermentador más fácilmente.

Desde el depósito de agua se bombean al interior del fermentador aproximadamente 650 L de agua para cada ciclo, que serán impulsados por una bomba.

##### **- Depósito de agua.**

Para favorecer la mezcla de agua y miel se ha decidido que tanto la miel como el agua se calentarán antes de introducirse en el fermentador y mezclarse. La temperatura a la que se calienta el agua, 25° C, no es demasiado alta, pero sí es una masa de fluido mayor que la miel; por ésta razón, el sistema de calentamiento elegido es un serpentín que aumenta la temperatura del agua hasta los 25° C en caso de que el agua se encuentre por debajo de dicha temperatura. Desde el punto de vista de la limpieza no es problemático que el serpentín esté en contacto con el fluido a calentar como ocurre en el caso de la miel. Por el interior del serpentín circulará agua caliente que se suministrará con un termo eléctrico convencional.

Se contempló la idea del aprovechamiento de las energías renovables mediante una instalación de placas solares que pudiese abastecer todos los requisitos de la planta,

pero después de consultar con especialistas de la materia, se optó por un termo convencional, puesto que la temperatura requerida es baja y sobretodo porque no se necesita un suministro continuo de agua caliente, si no sólo durante varias horas en cada ciclo. Así pues, no es rentable la instalación de placas solares en este proceso.

Por tanto, el depósito de agua tiene un doble objetivo de almacenar el agua y también calentarla a una temperatura de 25° C para que se mezcle con la miel en el fermentador alcohólico.

El volumen del depósito es de 1 m<sup>3</sup> y posee las siguientes dimensiones:

$$D_i = 0,947 \text{ m.}$$

$$H = 1,584 \text{ m.}$$

Se selecciona un depósito de dicha capacidad y dimensiones porque es suficiente para almacenar y calentar el agua necesaria para cada ciclo de fermentación alcohólica.

Se trata de un depósito con fondos elípticos 2:1 de espesor 5 mm. El material empleado para su construcción es acero inoxidable AISI 304L. El peso de dicho depósito está soportado mediante patas ancladas al suelo. La altura de la pestaña es de 25 mm.

Dispone de un tubo de nivel que permite visualizar el nivel del recipiente a través de un tubo graduado, y también de un sensor de temperatura que mide en cada momento la temperatura interna del depósito para evitar que aumente por encima de los 25° C y se suministre energía innecesaria. Existe un lazo de control automático para regular el caudal de agua de calefacción del intercambiador de calor en caso de variación de la temperatura interna.

El fondo superior del depósito posee una boca elíptica con las dimensiones necesarias para el acceso en caso de limpieza o mantenimiento.

También dispone de agitador de palas desde la parte superior para que se realice un adecuado intercambio de calor con el agua caliente que circula por el interior del serpentín. Dicho agitador es un agitador Helisem con una velocidad variable desde 40 a 173 rpm.

Las dimensiones del serpentín del depósito de agua:

Número de vueltas,  $n = 5$  vueltas.

Área del serpentín,  $a = 0,612 \text{ m}^2$ .

Longitud del serpentín,  $l = 10,419 \text{ m}$ .

Diámetro nominal de la tubería,  $D = \frac{1}{2} \text{ in}$ .

Diámetro de la espiral,  $D_e = 0,747 \text{ m}$ .

### 4.3 EL FERMENTADOR ALCOHÓLICO

Una vez se ha mezclado la miel y el agua es preciso mantener el fermentador a la temperatura óptima de la fermentación alcohólica, 25° C. Para garantizar que esta temperatura no se supere debido al calor generado por reacción, se instala un sistema de refrigeración externo (camisa de refrigeración).

Otra posibilidad para llevar a cabo este intercambio de calor podría ser utilizando chorros de agua fría por el exterior del fermentador, como es habitual en bodegas, pero en este caso se tiene un menor control sobre el intercambio de calor.

Las camisas refrigerantes comunes deben ocupar un 15-20% de la superficie total de pared del tanque de fermentación, y se disponen en una sola pieza o en dos. En este caso se diseña una sola pieza. Dicha camisa es de acero inoxidable con aislamiento exterior y con dimensiones de 0,957 m de diámetro y una altura de 0,211 m. La circulación del agua caliente por el interior de la camisa será de abajo hacia arriba para asegurar que el agua está en contacto con la pared del precalentador y hay una correcta transferencia de calor hacia el interior.

Al principio de cada fermentación alcohólica puede haber situaciones en las que sea necesario calentar, para acelerar el comienzo de la misma. En este caso se hará circular agua caliente a través de la camisa del fermentador para mantener el fluido en el interior a la temperatura adecuada, acortando así la fase de latencia de las levaduras. El agua caliente será la misma que se utilice en el serpentín del depósito de agua y en la camisa del precalentador con una temperatura entre 25-28° C.

La fermentación alcohólica tendrá una duración aproximada de 7 días, durante los cuales el fermentador se mantiene a una temperatura de 25° C.

Se realizan controles de pH, acidez volátil y grado Baumé durante el proceso.

El fermentador es un depósito con un volumen de 1 m<sup>3</sup> con fondos elípticos 2:1. El material empleado para su construcción es acero inoxidable AISI 316L.

Las dimensiones del fermentador son:

Diámetro,  $D_i = 0,947$  m

Altura,  $H = 1,580$  m

El espesor del depósito es de 5 mm y la altura de la pestaña es de 25 mm. El peso de dicho depósito está soportado mediante patas ancladas al suelo.

En la parte baja de la envolvente se tiene una boca elíptica con las dimensiones necesarias para el acceso del operario en caso de limpieza o mantenimiento.

El fermentador dispone de agitador de palas desde la parte superior para homogeneizar el fluido en el interior del fermentador y favorecer la oxigenación del medio. Dicho agitador es un agitador Helisem con una velocidad variable desde 40 a 173 rpm.

También dispone el fermentador de un escape de aire en el fondo superior debido al desprendimiento de CO<sub>2</sub> que se produce durante el proceso.

➤ Utilización de inóculos.

El cultivo iniciador de la fermentación alcohólica es una población de microorganismos crecida a partir de una colección de cultivos, previamente seleccionada la cepa más adecuada. El volumen y la actividad del cultivo deben ser lo bastante grande para asegurar un correcto arranque.

La utilidad de los cultivos iniciadores radica en el hecho de que parte de la calidad del producto está directamente relacionada con las levaduras que hayan intervenido en la fermentación alcohólica. Se debe tener especial cuidado en la adecuada selección del cultivo.

En este caso, se adicionarán 40 L de un cultivo de inóculo que será crecido previamente en un pequeño reactor de 50 L en el laboratorio de la planta, donde se mantendrán las condiciones para su mejor desarrollo.

#### **4.4 DECANTADOR**

Después de que transcurran aproximadamente los 7 días de la fermentación se procede a la descarga de toda la masa de fluido del fermentador mediante una bomba a otro depósito con el objetivo de separar las lías de la hidromiel.

El fluido fermentado contiene una gran cantidad de lías, es decir, restos de levaduras y sólidos, que hay que separar de la hidromiel para evitar un posible reinicio de la fermentación y también para que no se mezclen estos microorganismos con las bacterias que se inocularán en la fermentación acética.



Esta operación conocida como deslío se lleva a cabo en un decantador y dura otros 7 días aproximadamente, durante los cuales las lías se van depositando en el fondo del depósito.

Se ha elegido la decantación porque no se han considerado necesarias otras alternativas más efectivas ya que posteriormente la hidromiel pasará a la fermentación acética.

Mientras las lías y sólidos van precipitando y se acumulan en el fondo del depósito, el líquido sobrenadante se observará cada vez más limpio.

Transcurrido este tiempo (de aprox. 7 días) la hidromiel pasa a un depósito donde se almacena, y se retiran las lías del decantador por la parte inferior.

Éste depósito tiene un fondo superior elíptico, mientras que el fondo inferior es de tipo cónico para facilitar de esta manera la separación de las lías y el líquido clarificado. Posee un volumen de  $1 \text{ m}^3$  y el material empleado para su construcción es acero inoxidable AISI 304L.

Las dimensiones del decantador son:

$$\text{Diámetro, } D_i = 1,006 \text{ m}$$

$$\text{Altura, } H = 1,537 \text{ m}$$

El espesor del depósito es de 6 mm y la altura de la pestaña es de 25 mm. El peso de dicho depósito está soportado mediante patas ancladas al suelo.

En el fondo superior el depósito dispone de una boca elíptica con las dimensiones necesarias para su limpieza o mantenimiento.

#### **4.5 DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE HIDROMIEL**

Se diseña un depósito de  $5 \text{ m}^3$  de capacidad para poder almacenar hidromiel durante aproximadamente 6 ciclos de fermentación alcohólica. Dado que la etapa siguiente (fermentación acética) es un proceso rápido en el que se requieren 600 L de hidromiel cada aprox. 4 días, se considera que las dimensiones del depósito de almacenamiento son más que suficientes para garantizar el suministro.

El depósito posee las siguientes dimensiones:

$$\text{Diámetro, } D_i = 1,619 \text{ m.}$$

Altura,  $H = 2,702$  m.

Es un depósito con fondos elípticos 2:1 de espesor 6 mm. El material empleado para su construcción es acero inoxidable AISI 304L. El peso de dicho depósito está soportado mediante patas ancladas. La altura de la pestaña es de 30 mm.

Dispone de un tubo de nivel y en la parte inferior de la envolvente se tiene una boca elíptica para la limpieza y mantenimiento del depósito.

También dispone de agitador de palas con motor en la parte superior para homogeneizar el fluido en el interior del depósito, puesto que se irá cargando hidromiel procedente de distintos ciclos de fermentación y se homogeneizará para asegurar las mismas propiedades en la hidromiel para la etapa siguiente. Dicho agitador es un agitador Helisem con una velocidad variable desde 40 a 173 rpm.

Este depósito, como se ha comentado anteriormente, irá almacenando hidromiel hasta que se requiera en la fermentación acética, y para asegurar que la hidromiel que llega a ese proceso posee unas propiedades uniformes el depósito de hidromiel se agitará justo antes de la descarga con una soplante a pulso para homogeneizar el contenido de dicho depósito.

#### **4.6 EL FERMENTADOR ACÉTICO**

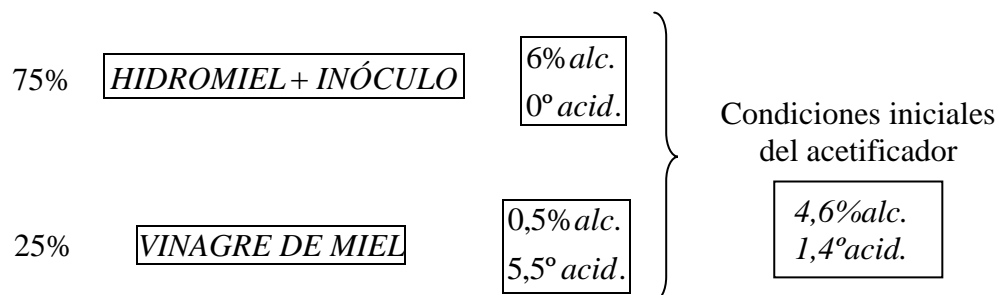
El fermentador acético opera en régimen discontinuo (o por ciclos), es decir, una vez realizada una primera fermentación se descarga parte del producto obtenido del fermentador, concretamente un 75 % del volumen, dejando el resto en su interior, para cargar de nuevo materia prima hasta el total, 800 L. Esta operación se realiza de esta manera para que la mezcla al inicio de la fermentación tenga una proporción de alcohol y acidez de:

4,6% alcohol

1,4° acidez

que se considera es la proporción adecuada para favorecer el inicio de la fermentación acética (disminución de la fase de latencia minimizando el efecto tóxico de alcohol y acidez).

Dicha proporción se consigue añadiendo hidromiel e inóculo en la masa de fluido proveniente del ciclo anterior de fermentación acética de la siguiente manera:



**Figura 9. Esquema de mezclado en el acetificador.**

En terminología enológica esta técnica se denomina pie de cuba, que consiste en utilizar una cantidad de medio fermentado para comenzar una nueva fermentación.

El fermentador es un depósito con fondos elípticos 2:1 con un volumen de 1 m<sup>3</sup>. El material empleado para su construcción es acero inoxidable AISI 316L.

Las dimensiones del fermentador son:

$$\text{Diámetro, } D_i = 0,947 \text{ m}$$

$$\text{Altura, } H = 1,580 \text{ m}$$

El espesor del depósito es de 5 mm y la altura de la pestaña es de 25 mm. El peso de dicho depósito está soportado mediante patas ancladas al suelo.

Dispone de un tubo de nivel y en el fondo superior de la envolvente se tiene una boca elíptica para la limpieza y mantenimiento del depósito y un escape de aire para la salida de los vapores que se producen durante el proceso de fermentación.

La fermentación acética es un proceso térmicamente autorregulado, es decir, si la temperatura de fermentación aumenta excesivamente el índice de muerte celular sube muy rápidamente, de forma que la fermentación se ralentiza y la temperatura vuelve poco a poco a descender. Algo parecido sucede en el extremo opuesto. A pesar de todo esto, la fermentación sin control externo de temperatura podría durar semanas, convirtiéndose entonces en un proceso poco rentable.

En este proyecto, para el mantenimiento de la temperatura óptima de fermentación en aproximadamente 31° C se usa un sistema interno de refrigeración conectado a la red de abastecimiento de agua local. Para evacuar el calor generado en la fermentación (reacción exotérmica) se necesita un serpentín de 11,73 m de longitud. En

el inicio de la fermentación puede que sea necesario incluso calentar el medio de fermentación si la temperatura ambiente es excesivamente baja y esto se lleva a cabo mediante la circulación de agua caliente por el interior del serpentín.

Una sonda controla la temperatura del medio en el interior del fermentador, de forma que para mantener la temperatura en su óptimo de fermentación, se abre o cierra la válvula del sistema de refrigeración, circulando así por el interior del serpentín sólo el agua necesaria.

#### **4.6.1 Aireador - agitador**

Como se comentó en el *Apartado 3.- Antecedentes*, la fermentación acética está muy influenciada por la concentración de oxígeno en el medio. Por tanto, es necesaria la instalación de un sistema de aireación que facilite la entrada de aire de una manera eficiente.

Para que esto ocurra es imprescindible el buen contacto entre las burbujas de aire y el medio fermentativo. Son muchas la etapas que se dan en la transferencia de oxígeno desde el aire hacia el medio fermentativo, por lo que serán muchas las resistencias a superar. Para facilitar el contacto entre las bacterias acéticas y el oxígeno se intenta que el diámetro de la burbuja de aire sea lo más pequeño posible. Para ello se emplea un aireador de baja velocidad, ya que divide muy finamente el aire que entra al fermentador. Esta corriente de aire además de aportar el oxígeno necesario para el desarrollo de la fermentación, tiene como misión la agitación y homogenización del contenido del fermentador. Además, evita las sedimentaciones en el fondo del tanque.

El aireador a elegir debe ser sumergible, tipo “Friborator”, puesto que son apropiados para cualquier reacción gas-líquido a temperaturas y presiones por debajo de los 70° C y 2 bar, respectivamente.

El aireador óptimo en las condiciones de trabajo del presente proyecto es el Friborator 150, que suministra un caudal de 30 m<sup>3</sup>/h, por lo que según la bibliografía abarca el caudal de aire máximo necesario (21,1 m<sup>3</sup>/h).

El aireador-agitador está situado en el fondo inferior del fermentador y consta de un motor trifásico que trabaja a 400 V y 50 Hz y a una potencia de 3 kW.

Puesto que el oxígeno se va consumiendo durante la fermentación, gracias a un sensor polarográfico se detecta cuando existe en el medio un déficit de oxígeno disuelto,

entrando en funcionamiento el controlador (se explica con más detalle en el *Apartado 6.- Instrumentación y control*).

➤ Utilización de inóculos.

Como se comentó anteriormente, la utilización de inóculos asegura que se emplea la cepa más adecuada para el tipo de fermentación que se va a llevar a cabo. Por esta razón, también se inoculará con cepas seleccionadas para la fermentación acética.

Además, la secuencia de ciclos de fermentación acética debe detenerse después de un número limitado de ciclos de fermentación, ya que ésta dura menos días que la fermentación alcohólica. Entonces, para que dé tiempo a tener suficiente hidromiel para cargar el fermentador acético durante varios ciclos será necesario hacer paradas de proceso.

Para cada inoculación, se prepararán 40 L de un cultivo de inóculo que crecerá en un pequeño reactor de 50 L en el laboratorio de la planta, donde se mantendrán las condiciones para su mejor desarrollo.

#### **4.7 MEZCLADOR DE MIEL - VINAGRE DE MIEL**

El mezclador acumula varios ciclos de vinagre antes de que pase al sistema de filtración tangencial y se lleva a cabo en él la mezcla del vinagre con miel procedente del precalentador.

Se adiciona miel para proporcionar al vinagre un aroma y notas características de la miel que se pierden con los compuestos volátiles durante las fermentaciones alcohólica y acética.

Cada vez que se descargue vinagre de miel se añadirá la cantidad de miel correspondiente y se homogeneizará todo el depósito. Esta operación se realiza en el mismo depósito mezclador.

El volumen del depósito es de 5 m<sup>3</sup> y posee las siguientes dimensiones:

Diámetro,  $D_i = 1,619$  m.

Altura,  $H = 2,702$  m.

Es un depósito con fondos elípticos 2:1 de espesor 6 mm. El material empleado para su construcción es acero inoxidable AISI 316L. El peso de dicho depósito está soportado mediante patas ancladas. La altura de la pestaña es de 30 mm.

Dispone de tubo de nivel y un agitador de palas desde el fondo superior del depósito para llevar a cabo la mezcla entre el vinagre de miel y la miel y cuya velocidad de agitación varía desde 40 a 173 rpm, de la gama Helisem.

Además, la parte baja de la envolvente tiene una boca elíptica con las dimensiones necesarias para el acceso del operario en caso de limpieza o mantenimiento.

#### **4.8 FILTRACIÓN TANGENCIAL**

El vinagre de miel debe pasar a través de un filtro para que las partículas en suspensión que están presentes en él puedan ser retenidas en la torta de filtración y de esta forma se consiga un vinagre estabilizado.

Una vez consultada la bibliografía se ha decidido instalar un sistema de microfiltración tangencial debido a las ventajas que presenta respecto a los sistemas de filtración convencionales. Se ha elegido una unidad de microfiltración “*Minitan*” de acero inoxidable con membranas de microfiltración, de la empresa *Millipore* o similar.

El sistema consta de placas de filtración, separadores de retenido y una bomba peristáltica de caudal regulable capaz de proporcionar un caudal máximo de 1 l/min.

Una vez filtrado el vinagre de miel está listo para que se lleve a una planta de envasado.

## **5. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

La implantación del diseño de un sistema de control persigue una serie de objetivos como pueden ser: suprimir la influencia sobre el proceso de agentes externos, asegurar la estabilidad del proceso y optimizar los rendimientos del proceso. Es conveniente instalar un sistema de control para que la planta opere de manera estable y automatizada, controlando las variables necesarias, para obtener siempre las mismas características en el producto final.

La planta requiere una serie de lazos de control automático para asegurar el correcto funcionamiento de la misma. A continuación se detallan dichos lazos y la instrumentación utilizada en cada uno.

### **5.1. SISTEMA DE CONTROL PARA EL DEPÓSITO DE MIEL Y EL PRECALENTADOR DE MIEL**

En el depósito de miel sólo es necesario controlar el nivel de miel para que no sobrepase el máximo. Para ello no se precisa de un lazo de control puesto que será el operario de la planta el que dé la orden de abastecimiento del depósito cuando sea necesario. Por tanto, en el depósito de miel se colocará un instrumento de medida que proporcione una indicación visual del nivel del depósito, un tubo de nivel.

Sin embargo, en el precalentador las variables que se quieren controlar son el nivel del depósito y la temperatura del fluido en el interior del mismo.

#### ***5.1.1. Control de temperatura en el precalentador***

Como se vio en el Apartado “Proceso productivo” de esta Memoria la miel va a ser calentada en el precalentador a una temperatura de 25° C, antes de mezclarse con el agua en el fermentador, utilizando para ello agua caliente que circulará por un encamisado exterior al precalentador.

La variable a controlar será la temperatura de la miel en el interior del precalentador, la variable a manipular será el caudal de entrada del agua caliente en el encamisado y habrá una perturbación que será la temperatura de dicho agua.

Se instalará un sistema de lazo de control simple, que actuará sobre una válvula de control y ésta a su vez regulará la entrada del agua caliente que circula por el encamisado del exterior del precalentador.

El lazo de control simple constará de:

- Sensor de temperatura digital, marca Kobold modelo DTM o similar. Trabaja en un rango desde  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ , controlado por un microprocesador y construido en acero inoxidable con láminas de poliéster. Aconsejable para la industria química, farmacéutica y de alimentos.
- Controlador de temperatura, marca Cole-Parmer, modelo EW-98609-60 o similar, que trabaja en un rango de temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ .
- Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 o similar, fabricada en acero inoxidable.

### ***5.1.2. Control de nivel en el precalentador***

Por un lado será necesario controlar el nivel máximo del precalentador para que no sea sobrepasado y por otro lado el nivel mínimo que coincidirá con la cantidad necesaria de miel en cada ciclo de fermentación alcohólica, ya que las cantidades para la mezcla entre la miel y el agua van a ser controladas desde los depósitos.

Para el caso del nivel máximo, el lazo de control actuará sobre la bomba de carga del precalentador y, para el caso del nivel mínimo, se actuará sobre la bomba de descarga del precalentador: el operario accionará la bomba de carga del precalentador y éste se llenará de miel hasta que el nivel del mismo llegue al nivel máximo y el actuador del lazo de control envíe la señal para la parada de la bomba de carga. En el momento en que el fermentador alcohólico pueda recibir la carga para un nuevo ciclo de fermentación y ambas materias, la miel y el agua, estén a la temperatura requerida, el operario accionará la bomba de descarga del precalentador y del depósito de agua, que se explicará en el siguiente Apartado. Cuando el nivel del precalentador llegue al nivel



mínimo se habrán descargado 125 L de miel hacia el fermentador y el actuador parará la bomba de descarga.

Ambos lazos de control constarán de:

- Sensor de nivel, marca Kobold, modelo NBK-R, tipo Bypass o similar que puede trabajar a más de 6 m de longitud y salida analógica 4-10 mA. Además de tener la función de sensor, se usará como tubo de nivel.
- Controlador de nivel de fluido, marca Cole-Parmer, modelo LC40 o similar, con interruptor y alarma, además de un LED que indica los valores que se miden.
- Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 o similar, con dos vías.

## **5.2. SISTEMA DE CONTROL PARA EL DEPÓSITO DE AGUA**

Al igual que en el precalentador las variables que se van a controlar en el depósito de agua son la temperatura en el interior del mismo y el nivel.

### ***5.2.1. Control de temperatura en el depósito de agua***

El agua, que posteriormente va a mezclarse con la miel en el fermentador, se ha de calentar hasta una temperatura aproximada de 25° C. Para controlar dicha temperatura se implantará un lazo de control simple, que actuará sobre una válvula de control y ésta a su vez regulará la entrada del agua caliente que circula por el serpentín instalado en el interior del depósito

La variable a controlar será la temperatura del interior del depósito, la variable a manipular será el caudal de agua caliente que entra al serpentín y habrá una variable de perturbación que será la temperatura del agua de entrada.

El lazo de control simple constará de:

- Sensor de temperatura digital, marca Kobold modelo DTM o similar. Trabaja en un rango desde -30° C a 50° C, controlado por un microprocesador

y construido en acero inoxidable con láminas de poliéster. Aconsejable para la industria química, farmacéutica y de alimentos.

- Controlador de temperatura, marca Cole-Parmer, modelo EW-98609-60 o similar, que trabaja en un rango de temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ .
- Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 o similar, fabricada en acero inoxidable.

Cuando la temperatura del interior del precalentador desciende por debajo del punto de consigna de  $25^{\circ}\text{C}$  se envía una señal al actuador que pone en funcionamiento la válvula de entrada de caudal de agua caliente al interior del serpentín.

Cuando se consigue que la temperatura aumente (hasta un punto de consigna superior a  $25^{\circ}\text{C}$ ), la entrada de agua al serpentín se detendrá.

### ***5.2.2. Control de nivel en el depósito de agua.***

La cantidad de agua necesaria para la mezcla en el fermentador será controlada mediante la bomba de descarga del depósito de agua.

Se instalará un sistema de control de lazo simple, donde la variable a controlar será el nivel mínimo del depósito de agua, de forma que cuando se detecte que el nivel del depósito alcanza dicho valor mínimo el controlador actuará sobre la bomba de descarga parándola.

El lazo de control simple constará de:

- Sensor de nivel, marca Kobold, modelo NBK-R, tipo Bypass o similar que puede trabajar a más de 6 m de longitud y salida analógica 4-10 mA. Además de tener la función de sensor, se usará como tubo de nivel.
- Controlador de nivel de fluido, marca Cole-Parmer, modelo LC40 o similar, con interruptor y alarma, además de un LED que indica los valores que se miden.
- Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 o similar, con dos vías.

### 5.3. SISTEMA DE CONTROL PARA EL FERMENTADOR ALCOHÓLICO

Las variables que se van a controlar en el fermentador alcohólico son:

- La temperatura.
- El nivel del depósito.

#### 5.3.1. Control de temperatura en el fermentador alcohólico

La temperatura es una variable importante en la fermentación alcohólica y, como ya se indicó anteriormente, la temperatura óptima está alrededor de los 25° C, por lo que se debe mantener el medio fluido a esa temperatura.

Se instalará un sistema de lazo de control simple, que actuará sobre una válvula de control y ésta a su vez regulará la entrada de refrigerante que atraviesa el encamisado en el exterior del fermentador.

La variable a controlar será la temperatura del interior del fermentador, la variable a manipular será la entrada de caudal de refrigerante en el encamisado y habrá una variable de perturbación que será la temperatura del agua de entrada.

El lazo de control simple constará de:

- Sensor de temperatura digital, marca Kobold modelo DTM o similar. Trabaja en un rango desde -30° C a 50° C, controlado por un microprocesador y construido en acero inoxidable con láminas de poliéster. Aconsejable para la industria química, farmacéutica y de alimentos.
- Controlador de temperatura, marca Cole-Parmer, modelo EW-98609-60 o similar, que trabaja en un rango de temperatura de -10° C a 60° C.
- Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 o similar, fabricada en acero inoxidable.

Cuando la temperatura en el medio fermentativo sube, debido al calor generado por la reacción, por encima del punto de consigna (que se fijará en 25° C), se manda una señal al actuador, y éste a su vez pone en funcionamiento la válvula de entrada de caudal de agua fría al interior del serpentín. Cuando se consigue que la temperatura baje por debajo del punto consigna, la entrada de agua al encamisado se detendrá.

### **5.3.2. Control de nivel en el fermentador alcohólico**

Una vez que la masa de fluido en el interior del fermentador ha alcanzado en torno a 6% alcohol, se descargará al decantador y podrá comenzarse la limpieza del fermentador antes de la siguiente carga. Así pues, no será necesario un sofisticado sistema de control de nivel, sino que será suficiente un tubo de nivel; para descargar la hidromiel se empleará una bomba móvil de desplazamiento positivo, muy usada en bodegas.

## **5.4. SISTEMA DE CONTROL DEL FERMENTADOR ACÉTICO**

Como se vio en el *Apartado “Antecedentes”* existen varios parámetros que influyen en el adecuado desarrollo de la fermentación acética. Para controlar algunos de estos parámetros se instala un sistema de control en el fermentador de manera que es posible asegurar la obtención del producto con las características requeridas.

Las variables que se van a controlar en el fermentador acético son:

- La temperatura.
- El nivel del depósito.
- La concentración de oxígeno disuelto en el interior del fermentador.

### **5.4.1. Control de temperatura en el fermentador acético**

La temperatura óptima de fermentación acética está entorno a los 31° C, por lo que se instalará un sistema de control que mantenga el fluido en el interior del fermentador a dicha temperatura. Será un lazo de control simple que actuará sobre una válvula de control, y ésta a su vez regulará el caudal de refrigerante que entra al serpentín instalado en el interior del fermentador.

La variable a controlar será la temperatura del interior del fermentador, la variable a manipular será la entrada de caudal de refrigerante al serpentín y habrá una variable de perturbación que será la temperatura del agua de entrada.

El lazo de control simple constará de:

- Sensor de temperatura digital, marca Kobold modelo DTM o similar. Trabaja en un rango desde -30° C a 50° C, controlado por un microprocesador y construido en acero inoxidable con láminas de poliéster. Aconsejable para la industria química, farmacéutica y de alimentos.
- Controlador de temperatura, marca Cole-Parmer, modelo EW-98609-60 o similar, que trabaja en un rango de temperatura de -10° C a 60° C.
- Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 o similar, fabricada en acero inoxidable.

Cuando la temperatura del medio fermentativo sube, debido al calor generado por la reacción, por encima del punto de consigna ( que se fijará en 31° C) se manda una señal al actuador, y éste pone en funcionamiento la válvula de entrada de caudal de agua al interior del serpentín.

Cuando se consigue que la temperatura baje por debajo del punto de consigna, la entrada de agua al serpentín se detendrá.

#### **5.4.2. Control de nivel en el fermentador acético**

Una vez que se obtiene el vinagre de miel de un poco más de 5° acéticos, deberá descargarse el 75% del volumen de vinagre del fermentador, de manera que al reponer ese volumen con hidromiel, se alcancen aproximadamente 4,6% alcohol en el interior del fermentador.

Para reponer el volumen descargado se pondrá en marcha el caudal de entrada de hidromiel desde el depósito de la Nave I y, cuando el sensor detecte que se ha alcanzado el punto de consigna fijado para el nivel máximo, se envía una señal al actuador que detendrá la bomba de carga al fermentador.

El lazo de control simple constará de:

- Sensor de nivel, marca Kobold, modelo NBK-R, tipo Bypass o similar que puede trabajar a más de 6 m de longitud y salida analógica 4-10 mA. Además de tener la función de sensor, se usará como tubo de nivel.

- Controlador de nivel de fluido, marca Cole-Parmer, modelo LC40 o similar, con interruptor y alarma, además de un LED que indica los valores que se miden.
- Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98165-10 o similar, con dos vías, ideal para fluido agresivos.

#### 5.4.3. Control de oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es un parámetro fundamental en la fermentación acética, tal y como se comentó en el *Apartado “Antecedentes”* de esta Memoria, y es introducido en el fermentador mediante un aireador- agitador Fibrorator.

Para introducir la cantidad adecuada de oxígeno al medio fermentativo se instalará un lazo de control simple que constará de:

- Sensor de oxígeno disuelto para medios líquidos, marca Cole-Parmer, modelo EW-05726-26 o similar, con compensación de temperatura y 420 mm de inmersión y 19 mm de diámetro.
- Controlador de oxígeno, marca Cole-Parmer, modelo EW-53405-00, DO2000 Controller o similar. Trabaja en un rango de 0 a 20 mg/L (ppm). También contiene compensación automática o manual de temperatura y alarma.
- Electroválvula ON/OFF, marca Cole-Parmer, modelo EW-98615-10.

Cuando el medio fermentativo alcanza el punto de consigna superior (aproximadamente 1,5 ppm), se envía una señal para que la velocidad del Fibrorator disminuya, creándose así un menor aporte de oxígeno. Del mismo modo, cuando el valor de oxígeno disuelto que se mide esté alrededor de 0,8 ppm (punto de consigna inferior), la velocidad del aireador aumenta, y por tanto aumentará el aporte de oxígeno.

## **6. SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y BOMBEO**

Un sistema de conducción está formado por las tuberías, bombas, sus conexiones y los accesorios que se instalen en las líneas de tuberías.

### **6.1 TUBERÍAS**

Las tuberías del presente proyecto están diseñadas según la norma ANSI B31.3 “*Tuberías de Refinerías de Petróleo y Plantas Químicas*”, y en el *Anexo de Cálculo IV.- Cálculo y Selección de conducciones para la impulsión de líquidos* se presentan los cálculos realizados para seleccionar las tuberías y bombas más adecuadas para el sistema de tuberías.

Para la selección del material del sistema de tuberías se debe tener en cuenta el fluido que circulará por ellas. Así, se considerarán la miel, el agua, la hidromiel y el vinagre de miel. En la planta de fermentación alcohólica se ha optado por montar tuberías de acero inoxidable AISI 304L, debido a que este tipo de acero inoxidable es apropiado para el fluido que va a circular por ellas, ya que es excesivamente agresivo. Mientras que en la nave de fermentación acética para la conducción procedente de la nave anterior se seguirá utilizando el acero inoxidable AISI304L, pero se opta por emplear acero inoxidable AISI 316L para el resto de conducciones, ya que el fluido que circulará por ellas (vinagre) es muy corrosivo.

En la instalación se pueden distinguir 8 líneas distintas de conducción, siendo las características de cada tubería las que se muestran en la siguiente tabla:

Línea	Fluido que circula	Acero inoxidable	Tamaño nominal del tubo (pulg.)	D exterior normalizado (mm)	Espesor cédula 10S (mm)
L1	Miel	304L	1	33,4	2,77
L2	Miel	304L	1/2	21,3	2,11
L3	Agua	304L	1	33,4	2,77
L4	Hidromiel	304L	1	33,4	2,77
L5	Hidromiel	304L	1	33,4	2,77
L6	Hidromiel	304L	1	33,4	2,77
L7	Vinagre de miel	316L	1	33,4	2,77
L8	Vinagre de miel	316L			

Tabla 10. Características de las tuberías del sistema de conducción.

En cuanto al sistema de refrigeración del fermentador acético, dado que el serpentín va a estar inmerso en el medio fermentativo, se diseñará del mismo material que el fermentador, es decir, acero inoxidable 316L.

Sin embargo, el serpentín instalado en el depósito de agua será una tubería de acero inoxidable 304L, puesto que el fluido con el que estará en contacto no es tan corrosivo como el vinagre.

## 6.2 TUBULADURAS DE LAS CONDUCCIONES

Las tubuladuras de las conducciones, que son zonas donde se acumulan tensiones, tendrán un espesor calculado también en el *Anexo IV.- Cálculo y Selección de conducciones para la impulsión de líquidos*, y cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Espesor mínimo de las conducciones (mm)	$t_{\text{mínimo tubuladura}}$ (mm)
2,11	3,91
2,77	4,67

Tabla 11. Espesor mínimo de las tubuladuras de las conducciones.



En dicho *Anexo* se obtuvieron dos espesores distintos para las conducciones, así pues, para cada espesor se ha obtenido un espesor mínimo de tubuladura.

### 6.3 BOMBAS

En todo el sistema de tuberías será necesaria la instalación de equipos para la impulsión del fluidos; bombas tanto de desplazamiento positivo como bombas centrífugas, y se eligen en función del líquido que van a impulsar y, la potencia necesaria teniendo en cuenta las pérdidas de carga de las tuberías. Así, se llega a la conclusión de que las bombas más adecuadas para la planta son las que presentan las características que se muestran en la Tabla 3.-

El cálculo de las características de las bombas que se instalan en la planta se detalla en el *Anexo de Cálculo IV.- Cálculo y Selección de conducciones y equipos para la impulsión de líquidos.*

Bomba	Fluido que impulsa	W (kW)	Modelo	Marca
<b>B1</b>	Miel	0,55	Bomba de miel de paletas INOX trifásica	Apinorte
<b>B2</b>	Miel	0,55	Bomba de miel de paletas INOX trifásica	Apinorte
<b>B3</b>	Agua	0,40	Bomba centrífuga YD-250-GV	World Chemical Co.
<b>B4</b>	Hidromiel	0,40	Bomba centrífuga YD-250-GV	World Chemical Co.
<b>B5</b>	Hidromiel	0,40	Bomba centrífuga YD-250-GV	World Chemical Co.
<b>B6</b>	Hidromiel	0,40	Bomba centrífuga YD-250-GV	World Chemical Co.
<b>B7</b>	Vinagre de miel	0,40	Bomba centrífuga YD-250-GV	World Chemical Co.
<b>B8</b>	Vinagre de miel	0,40	Bomba centrífuga YD-250-GV	World Chemical Co.

**Tabla 12. Potencia necesaria, marca y modelo para cada bomba.**

## **6.4 VÁLVULAS**

Para las válvulas de control (globo o mariposa) y las válvulas de retención según la presión de trabajo se distinguen distintos tipos o diseños, llamados “clase”, expresada en libras/pulgada cuadrada (psi). Para el sistema de tuberías del proyecto se ha optado por válvulas de control y de retención de acero inoxidable de 150 lbs.

Con respecto al resto de accesorios, codos, Tees, ensanchamientos, etc. se instalarán cuantos sean necesarios para asegurar la estanqueidad y buen funcionamiento de la instalación.

## 7. RÉGIMEN OPERATIVO

### 7.1 PRODUCCIÓN

El objeto del proyecto es la producción de vinagre de miel, con un volumen de producción máximo de 35 m<sup>3</sup>/año.

El ritmo de producción vendrá determinado por la etapa de fermentación alcohólica, puesto que es la más lenta de las dos fermentaciones que tienen lugar durante todo el proceso. Esta fermentación llega a durar siete días, mientras que la fermentación acética sólo dura 4 días.

Además, una vez ha concluido un ciclo de fermentación alcohólica debe ser limpiado el fermentador, por lo que estará sin funcionar varias horas.

### 7.2 INÓCULO

Para que la fermentación se lleve a cabo habrá que inocular en el medio fermentativo los microorganismos adecuados. Bien es sabido que una fermentación puede darse sin inoculación, pero en ese caso el tiempo que tardaría en obtenerse el producto no sería rentable.

Por tanto, en esta planta se dispondrá de un pequeño reactor en el laboratorio para producir la cantidad de inóculo suficiente para cada ciclo de fermentación alcohólica. Para el caso de la fermentación acética sólo será necesaria una inoculación inicial, pues el sistema de carga/descarga descrito en el *Apartado 4.6. Fermentador Acético* garantiza la viabilidad de los microorganismos durante los ciclos consecutivos.

La producción del inóculo en el laboratorio no demorará la producción puesto que se preverá cuando es necesario y el laboratorio lo tendrá en las condiciones óptimas para el momento de la inoculación en el fermentador.

### 7.3 PARADAS DE MANTENIMIENTO

A lo largo del año se harán las paradas necesarias para el mantenimiento general de la planta, pero debido a que los procesos de fermentación alcohólica y fermentación acética están en naves separadas no tendrán por qué programarse para se lleven a cabo simultáneamente.

Por supuesto, estas paradas pueden llevarse a cabo cuando el fermentador alcohólico se encuentra en parada por limpieza al finalizar un ciclo, y en el fermentador acético cuando se finaliza una serie de ciclos consecutivos.

### 7.4 RÉGIMEN LABORAL

En cuanto al régimen de personal, la automatización del proceso no sólo facilita la producción y minimiza la posibilidad de contratiempos, sino que permite limitar la necesidad de excesivo personal en planta.

En cuanto a las necesidades de personal técnico, en el Reglamento técnico-sanitaria para la elaboración y comercialización de los vinagres se estipula que “las plantas productoras dispondrán de laboratorios para análisis químico y microbiológico, dotado con los elementos suficientes para contrastar calidades y características de las materias primas, productos elaborados y en curso de elaboración”. No obstante, se especifica que éste servicio de análisis “podrá contratarse con un laboratorio que no pertenezca a la fábrica elaboradora”.

Las ventajas de disponer de un laboratorio propio son numerosas, destacando la rapidez e inmediatez de las determinaciones, lo que permite la toma rápida de decisiones sobre el proceso. Además la amortización del instrumental básico para análisis rutinario debería ser a corto plazo debido al ahorro en la contratación de los servicios de un laboratorio.

Al cargo de éste laboratorio estaría un técnico de cualificación media, que tras un seguimiento de los parámetros básicos de la fermentación y procesos auxiliares (refrigeración, aireación, etc.) sería capaz de tomar decisiones sobre el funcionamiento del proceso, tanto para hacer frente a un hecho puntual como de cara a una progresiva optimización del mismo.

## **8. CALIDAD, HACCP Y SEGURIDAD EN PLANTA**

### **8.1 CALIDAD**

Son dos los conceptos que condicionan la viabilidad económica de todos y cada uno de los sectores productivos:

- La calidad de los procesos y del servicio
- La seguridad y la calidad de los productos

El consumidor demanda con mayor insistencia alimentos de calidad, esto es, seguros, sanitariamente comprobados, correctamente presentados y que satisfagan su cada día mayor necesidad de información.

Son numerosos los beneficios de la implantación de un sistema de calidad como el fortalecimiento de la calidad del producto, adaptabilidad al mercado, elevación de productividad, la mejora de la imagen, eliminación de defectos, reducción de costes y mejora de la gestión, mayor satisfacción y aumento de la lealtad del cliente, la seguridad de puestos de trabajo y moral al empleado además de generar procesos mejorados e innovadores.

### **8.2 GESTION DEL CONTROL DE CALIDAD**

El control de la calidad es una etapa básica en un área tan delicada como la alimentación. Se puede fácilmente comprobar que en las actividades se está controlando permanentemente si los resultados de la ejecución de un plan coinciden con los objetivos propuestos. De esta forma, se llevarán a cabo los ajustes y correcciones necesarias en conductas y procesos para alcanzar las metas que se persiguen.

La certificación del SGC (Sistema de Gestión de Calidad) de una empresa agroalimentaria incrementa la confianza en la gestión y en los procesos de fabricación de la empresa y, por tanto, en que el producto suministrado cumpla con las expectativas del consumidor en cuanto a la calidad, incluyendo la seguridad alimentaria del producto.

En el sector agroalimentario, la figura del cliente tiene connotaciones especiales que lo diferencian de los clientes de otro tipo de productos, y es que se trata en definitiva de consumidores. Por todo ello, se hace necesario restringir algo más el concepto de calidad, añadiendo a esta definición de calidad el concepto de seguridad. Así en alimentación, la definición de calidad sería: “ el conjunto de características de un producto que satisfacen las necesidades del consumidor sin perjuicio para la salud.”

Un sistema de gestión de calidad, basado en el HACCP, permitirá no solo garantizar seguridad y calidad en nuestro producto, sino también servirá como instrumento de control y optimización de nuestro propio proceso.

El presente proyecto se trata de una planta donde se manipulan y procesan alimentos y, por lo tanto, debemos de asentar los sistemas de aseguramiento de calidad sobre el pilar del control estricto de la seguridad de los productos y, consecuentemente, desarrollar y mantener de forma eficaz un sistema de análisis de riesgos y control de puntos críticos de control (HACCP).

### **8.3 HACCP**

El sistema de análisis de riesgos de control de puntos críticos como sistema de gestión de la Seguridad Alimentaria puede considerarse como un subsistema general de gestión de calidad de la empresa e incluirse dentro de la estructura documental definida por la ISO 9000.

Se puede por tanto definir el sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (APPCC) como un método preventivo que controla de forma lógica, objetiva y sistemática la producción de una industria alimentaria, con el objetivo de producir alimentos sanos e inocuos para el consumidor.

Estudia los peligros que pueden presentarse en una industria y está dirigido principalmente hacia los riesgos sanitarios ofreciendo así una garantía de salubridad en los alimentos. Se contempla especialmente el control de riesgos microbianos de los alimentos, es decir, la inaceptable contaminación, crecimiento o supervivencia en los alimentos de microorganismos peligrosos para la salud o la persistencia de toxinas u otros productos consecuencia de la presencia microbiana en los mismos.

Actualmente ésta metodología es de aplicación obligatoria en “todas las empresas con o sin fines lucrativos, ya sean públicas o privadas, que lleven a cabo

cualquiera de las actividades siguientes: preparación, fabricación, transformación, envasado, almacenamiento, transporte, distribución, manipulación y venta o suministro de productos alimenticios” según el R.D. 2207/95 que transpone la Directiva 93/43/CE.

Los elementos principales del sistema HACCP son:

- A. Identificación de los peligros potenciales.
- B. Evaluación del riesgo (probabilidad) de ocurrencia.
- C. Determinación de los Puntos Críticos de Control (PCC).
- D. Establecimiento de los criterios (tolerancias, nivel objetivo) que se deben alcanzar para asegurar que el PCC está bajo control.
- E. Establecimiento de un sistema de vigilancia.
- F. Establecimiento de acciones correctivas cuando el PCC no esté bajo control.
- G. Establecimiento de un procedimiento de verificación.
- H. Establecimiento de un sistema de mantenimiento de la documentación y de los datos.

Empleando el concepto HACCP en el procesamiento de alimentos es posible asegurar y documentar (ya que todas las acciones y mediciones están registradas) la confiabilidad de un estándar de la calidad, según lo establecido en la especificación del producto.

Para que el sistema HACCP pueda ser efectivo, debe ser aplicado desde el origen del alimento (recolección de la miel) hasta su consumo (vinagre de miel). Hay que asegurar que la miel ha sido suministrada por un proveedor confiable (apicultor) que aplica los principios del HACCP. No obstante, se debe verificar ocasionalmente la calidad de la miel recibida en la planta mediante evaluación sensorial y análisis fisicoquímicos, siendo todas estas actividades también parte del plan HACCP de la planta.

Para la implantación de un sistema HACCP en la planta propuesta debemos de seguir, en el orden definido a continuación, un plan de trabajo que puede dividirse en 4 fases:

- Fase 1: Formación del equipo HACCP.
- Fase 2: Determinación del ámbito del sistema HACCP.
- Fase 3: Control de calidad de proveedores.
- Fase 4: Preparación del plan HACCP.

### ***Fase 1: Formación del equipo HACCP.***

La puesta en marcha de un sistema HACCP debe programarse estructuradamente con un enfoque sistemático y puede gestionarse como un proyecto, con un desarrollo en el que existe una fecha de inicio y otra de finalización, desarrollo en el que el sistema HACCP es completamente operativo.

Para que el proyecto se ponga en marcha con garantías es necesario nombrar a las personas clave:

- Un *responsable de proyecto* que debería ser un miembro del equipo directivo de la empresa con capacidad de decisión en gestión de presupuestos. Sus responsabilidades principales son garantizar los recursos adecuados, dirigir la política de la empresa en materia de seguridad alimentaria y HACCP, asegurar la progresión del proyecto, establecer procedimientos para informar sobre los progresos y nombrar al director del proyecto y al equipo.
  
- Un *director del proyecto*, que suele ser el jefe del equipo y cuyas responsabilidades se centran en el diseño del proyecto, el alcance de los objetivos según el calendario previsto y en el informe regular al responsable del proyecto sobre su marcha.

No cabe duda que la implantación de un sistema HACCP implica a todos los trabajadores de la empresa, por lo tanto todos los empleados deben recibir la formación adecuada para que trabajen bajo las normas de calidad que se establezcan por parte del director del proyecto. Para ello todas las personas encargadas de la elaboración de vinagre de miel deben recibir una formación específica en dos áreas fundamentales:

- Concepción del sistema HACCP y de sus objetivos resaltando la importancia que reviste una buena inspección de los Puntos Críticos de Control (PCC) en relación con la seguridad y calidad del producto final.
- La formación específica que demande su trabajo en cuanto a las comprobaciones que se hayan de realizar, la prevención de fallos de PCC, las acciones correctoras y los procedimientos necesarios para realizarlas.



Debido a que la planta del presente proyecto no requiere un número alto de trabajadores, el control de calidad de los productos se llevará a cabo por parte del director de proyecto conjuntamente con un laboratorio acreditado, que proporcione los análisis químicos y microbiológicos necesarios para asegurar la calidad del producto final. Asimismo el director de proyecto será también el responsable del proyecto HACCP de la planta.

### ***Fase 2: Determinación del ámbito del sistema HACCP.***

Consiste en escribir la política sobre el HACCP o la seguridad del producto. Es importante mencionar que es aquí donde se determinan las especificaciones que debe de cumplir el producto, no sólo al final del proceso, sino en cada una de las etapas incluyendo la recepción y validación de la materia prima.

### ***Fase 3: Control de Calidad de Proveedores (CCP).***

Esta etapa trata de garantizar una determinada calidad de la materia prima. El CCP consta a su vez de 3 etapas claramente diferenciadas:

1. Especificaciones de la materia prima.
2. Formación de personal.
3. Establecer Auditorias.

#### ***1. Especificaciones de la materia prima***

Para llevar a cabo el control de calidad de la materia prima, lo primero es establecer las especificaciones que queremos que cumplan cada una de ellas. En caso de incumplimiento de las especificaciones de la materia prima el proveedor estará obligado al pago de una indemnización establecida en el contrato.

#### **Miel**

Para un mayor control y verificación de que la miel tratada en la planta no sólo cumple con los requisitos establecidos anteriormente, sino que también posee una

calidad microbiológica adecuada, se encargará un laboratorio certificado la realización de análisis químicos y microbiológicos de la materia prima. Esto no es necesario, ya que el proveedor debe de tener implantado un sistema HACCP, y se obtendrá siempre con la materia prima, un certificado de análisis de la misma. No obstante, así se conseguirá la verificación de que la materia prima cumple los requisitos deseados de calidad.

### Agua

Será agua potable procedente de la red de suministro que permita recibir a presión y en cantidad suficiente agua potable que cumpla los requisitos establecidos en la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público aprobada por Real Decreto 1138/1990.

Las características y el alcance de las especificaciones de compra tienen un papel fundamental, ya que todas las materias primas que sean suministradas por proveedores se deben atener a especificaciones precisas y actualizadas. Constituyen el elemento principal del programa, al describir los criterios precisos sobre los que se juzga la calidad y seguridad de las materias primas.

## *2. Formación del personal*

Cada trabajador debe de realizar sus actividades dentro del marco del proyecto HACCP. Para ello el director de proyecto se responsabilizaría de la formación de todos los trabajadores de la planta que se encarguen de la recepción de la materia prima, como son las actividades de interpretación del etiquetado, o verificación del cumplimiento de las especificaciones de compra, así como realizar las Pruebas de Calidad oportunas.

## *3. Establecer auditorías*

La Auditoría es uno de los elementos clave de un sistema de control de calidad, ya que mediante ella se adquiere la confianza en un proveedor. Antes de realizar una auditoría es conveniente proceder a un estudio previo con cuya información se mejora la dirección del control y se optimizan recursos. Además, esta información puede servir

como elemento de control para materias primas de bajo riesgo que no necesitan auditoría del proveedor.

El programa de actuación debe restablecerse de tal forma que se controlen los distintos tipos de materias primas. Para esto también puede servir el árbol de decisiones, que ayudan a determinar las prioridades de actuación y la frecuencia con que se realizarán estas auditorías.

En cuanto a los certificados de análisis, se pueden obtener de cada lote de materias primas, para confirmar que cumplen con lo especificado para los mismos. Aunque son un elemento útil del sistema de control de calidad, se deben tener en cuenta las limitaciones del análisis y la inspección del producto final.

Es necesario comprobar que estos análisis se efectúan por parte de laboratorios capaces de proporcionar resultados fiables; lo más recomendable es recurrir a laboratorios acreditados e independientes.

#### ***Fase 4: Preparar el plan HACCP***

Las fases anteriores describen las etapas iniciales del proyecto HACCP, que son la formación del equipo de trabajo, y el control de calidad de proveedores. Esta 4ª fase consiste en preparar con detalle el plan HACCP propiamente dicho. Este plan ha de tener la estructura que reúna la información básica del estudio de HACCP, así como los detalles de los aspectos que resulten críticos para la producción o la transformación de alimentos seguros. Los componentes principales de dicho plan serán el diagrama de flujo de procesos y la tabla de control HACCP, además de la documentación de apoyo precisa. El objetivo del sistema es establecer las condiciones necesarias para la producción de alimentos seguros, por lo que es conveniente que cualquier otra documentación adicional se reduzca al mínimo. No obstante, también se incluyen algunos aspectos relacionados con la calidad, ya que no sólo se pretende producir un producto con garantías de seguridad sanitaria, sino también un producto con garantías de calidad

Esta fase se divide en 8 etapas:

- a) Descripción del producto final y su uso esperado.
- b) Elaborar diagrama de flujo del proceso.

- c) Identificar peligros y medidas preventivas.
- d) Identificar los puntos críticos de control (PCC).
- e) Establecimiento de los límites críticos de control.
- f) Establecer las acciones correctoras cuando exista desviación.
- g) Establecer procedimientos y periodos de vigilancia.

En la tabla de control HACCP, quedarán determinados todos los PCC, tanto desde el punto de vista de calidad como de seguridad. Desde el punto de vista operacional resultará mucho más cómodo para los empleados tener una tabla con una serie de puntos que tienen especial trascendencia en el producto final, y por lo tanto el trabajador de la planta debe de concentrar su esfuerzo en la consecución de las tareas o etapas denominadas “críticas”.

#### **8.4 HIGIENE Y SEGURIDAD EN PLANTA**

A lo largo de este apartado se va a recoger la normativa sobre prevención de riesgos laborales que es de aplicación para el estudio y desarrollo de un plan preventivo para una almazara.

Se intentará incidir en la importancia del establecimiento de unas condiciones de trabajo adecuadas para la prevención y evaluación de los riesgos específicos derivados del trabajo.

Se van a señalar los instrumentos legales mínimos que son precisos para conocer y proseguir en el estudio de éste tema y abordar aquellos otros en los que deban tenerse en cuenta aspectos legales de la prevención de riesgos.

Uno de los aspectos fundamentales en el desarrollo de la actividad productiva es el establecimiento de unas condiciones de trabajo que permitan garantizar niveles aceptables en la seguridad y salud de los trabajadores.

El establecimiento de unas condiciones de trabajo óptimas en las empresas tiene como consecuencia la mejora en la prevención de los riesgos laborales, lo cual contribuye a preservar la salud general de los trabajadores, además de reducir los costes a escala nacional, sectorial y empresarial.

#### 8.4.1 Normativa aplicable

En primer lugar se va a mostrar de manera simplificada la normativa en materia de Prevención de Riesgos Laborales que va ser de aplicación en la planta.

❖ *Reglamentación General:*

Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

Servicios de Prevención Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

❖ *Equipos de trabajo:*

Real Decreto 1215/1997, de 18 de Julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

❖ *Aparatos a Presión:*

Real Decreto 1244/1979, que aprueba el Reglamento de aparatos a presión.

Real Decreto 769/1999, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo relativa a los equipos a presión.

❖ *Máquinas:*

Real Decreto 1435/1992, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre máquinas.

❖ *Equipos de protección individual:*

Real Decreto 1407/1992, de 20 de Noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.

❖ *Lugares de trabajo:*

Real Decreto 486/1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

❖ *Señalización:*

Real Decreto 485/1997, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad.

❖ *Riesgo de incendio:*

Real Decreto 786/2001, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Real Decreto 1942/1993, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios.

❖ *Riesgo eléctrico:*

Real Decreto 614/2001, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

❖ *Ruido:*

Real Decreto 1316/1989, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

❖ *Ambiente térmico:*

Real Decreto 486/1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

❖ *Pantallas de Visualización:*

Real Decreto 488/1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.

❖ *Carga de trabajo física:*

Real Decreto 487/1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas.

❖ *Riesgo Químico:*

Real Decreto 374/2001, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

Real Decreto 379/2001, por el que se aprueba el almacenamiento de productos químicos.

#### **8.4.2 Aplicación de la seguridad en la planta**

A continuación se recogen los riesgos más significativos en este tipo de industrias y las medidas preventivas a establecer para cada uno de ellos:

➤ **Caídas:**

Pueden producirse por:

- Presencia o salpicaduras tanto de hidromiel como de vinagre en el pavimento de las instalaciones.
- Presencia de agua encharcada en el suelo durante las labores de limpieza de las naves.

Como medidas preventivas se proponen:

- Utilización de botas con suela antideslizante.
- Mantenimiento de suelos debidamente protegidos (pueden utilizarse materiales antideslizantes como resinas epoxi), limpieza periódica y establecimiento de un buen orden de trabajo.
- Iluminación adecuada de los lugares de trabajo.

➤ **Asfixia:**

En los depósitos de almacenamiento de hidromiel y vinagre de miel, considerados como recintos confinados en los que pueden acumularse sustancias tóxicas o inflamables o tener una atmósfera deficiente en oxígeno, es necesario aplicar las siguientes medidas de precaución para su limpieza:

- Autorización de entrada al depósito: deberán estar presentes al menos dos trabajadores.
- Medición y evaluación de la atmósfera interior.

- Aislamiento del espacio confinado frente a los riesgos diversos.
- Ventilación.
- Vigilancia externa continuada.
- Formación y adiestramiento (establecimiento de métodos de rescate de emergencia).

➤ Exposición a ruido:

Esta exposición puede producir efectos negativos para la salud de los trabajadores afectados.

La evaluación de los trabajadores al ruido debe comenzar con la delimitación de las distintas zonas de exposición, en este caso pueden distinguirse claramente dos zonas, que se corresponden con las naves de las dos fermentaciones.

Las medidas para disminuir el nivel de ruido diario equivalente pueden realizarse de diversas formas:

- Disminución del nivel de presión acústica en el foco (maquinaria), mediante:
  - Adquisición de maquinaria con emisiones de ruido no elevadas.
  - Diseño de encerramientos para máquinas ruidosas. Puede situarse algún equipo con emisiones de ruido elevadas en un habitáculo especial fuera de la zona de fábrica.
- Disminución del nivel de presión acústica en el medio de transmisión, mediante:
  - Barreras absorbentes de ruido entre el foco del ruido y el receptor.
  - Separación máxima entre el foco de ruido y el receptor.



- Disminución del nivel de presión acústica en el receptor (trabajador), mediante:
  - Aislamiento acústico que encierre todo el puesto de trabajo. El puesto de control de maquinaria puede instalarse dentro de una cabina acristalada, insonorizada y lo más alejada posible de los focos de ruido.
  - Equipos de protección individual (EPI) frente al ruido para el trabajador (casco, auriculares, tapones).

➤ Riesgo de incendio:

El principal riesgo de incendio en la planta de producción de vinagre se debe al almacenamiento de vinagre.

También puede existir riesgo de incendio por el inadecuado estado de los componentes de la instalación eléctrica.

Las principales medidas de protección contra incendios serían la colocación y mantenimiento adecuados de medios materiales de lucha contra incendios:

- Sistemas automáticos de detección y alarma de incendios.
- Extintores de incendio.

➤ Riesgo eléctrico:

Las instalaciones eléctricas presentan siempre un riesgo de descarga sobre todo en condiciones de humedad.

Como medidas de prevención a adoptar en la planta aparecen:

- Todos los equipos con posibilidad de ponerse en tensión por avería o por defecto, estarán conectados a tierra.
- Revisión del aislamiento eléctrico de cables, muchas veces por el suelo, con elevada frecuencia y cambio de éstos al menor indicio de deterioro.
- Colocación de las debidas protecciones (interruptores magnetotérmicos o diferenciales).

- Utilización de lámparas portátiles estancas con mangos aislantes y corrientes de 24 V para la limpieza de depósitos.

➤ Riesgo derivado de la manipulación de materiales:

En este tipo de industrias, el principal riesgo derivado de la manipulación de materiales es el sobreesfuerzo del trabajador al realizar diversas tareas como el empuje de vagonetas o el centrado de cargos.

Como recomendación general se recoge la utilización de un mono común para cada operario. Dicha prenda sirve para salvaguardar la higiene del trabajador en el desarrollo de la actividad laboral, debido a que éste está expuesto continuamente a manchas provocadas por las salpicaduras.

#### **8.4.3 Aplicación de la higiene en la planta**

Aunque la miel y el vinagre sean un productos en el que el crecimiento microbiano sea complicado debido a se mínima actividad de agua y a su acidez, no es así en la hidromiel, y se deben contemplar unas condiciones de higiene de los trabajadores y sobre todo unas buenas prácticas de fabricación que pueden resultar esenciales para evitar la incorporación de peligros y garantizar sus condiciones de conservación.

Dentro de los puntos básicos que se deben conocer e incluir en un programa de formación de manipuladores de alimentos, se pueden destacar los siguientes:

- Importancia de los peligros químicos y físicos.
- Papel de los microorganismos en la alteración de los alimentos.
- Importancia de comunicar lesiones, enfermedades y afecciones padecidas por el manipulador.
- Causas y signos del deterioro de los alimentos.
- La razón de una buena higiene personal.
- Conocimiento sobre la correcta limpieza y desinfección de útiles e instalaciones.

- Requisitos de los materiales para envasar.
- Importancia de la responsabilidad sanitaria de cada trabajador.
- Características de las materias primas defectuosas.

Conocimientos básicos respecto a la higiene personal:

- Conocer que no se puede trabajar con relojes, anillos o pulseras.
- Se debe utilizar ropa limpia de uso exclusivo.
- Conocer que está prohibido fumar, comer o beber en las instalaciones de la industria, incluidas las destinadas a la recepción y almacén de materias primas.
- Conocer el uso y mantenimiento de los servicios higiénicos.
- El personal deberá tener las manos limpias, libres de heridas o afecciones cutáneas. En caso de heridas en las manos éstas deberán estar protegidas.
- Se usará papel de un solo uso.
- Prestar atención a todos los anuncios, avisos y recomendaciones que emita la empresa en cuestiones de higiene.

Programa básico de buenas prácticas de fabricación:

- Los productos se mantendrán aislados del contacto de la luz y en la medida de lo posible en ausencia de aire.
- No se almacenarán productos susceptibles de contaminar los productos como lubricantes y aceites en las zonas de elaboración y almacén.
- No se permitirá la entrada de animales en las instalaciones de la industria.
- No se permitirá el acceso a las instalaciones a personas ajenas a la industria.

- No se almacenarán productos que puedan transmitir olores al vinagre.
- Se limpiará el fermentador alcohólico cada vez que finalice un ciclo de fermentación.

#### 8.4.3.1 MANTENIMIENTO HIGIÉNICO DE LAS INSTALACIONES

##### Ubicación de la industria:

Considerando aspectos estructurales es muy aconsejable que tanto el patio de la industria así como los accesos y las inmediaciones estén libres de basura o restos de equipos y maquinaria vieja.

La planta se ubicará alejada de fuentes de polución como pueden ser vertederos de basura, industrias productoras de malos olores o de elevada contaminación atmosférica. Se evitarán espacios con posibilidad de inundación o encharcamiento en los alrededores.

Se cuidará que se disponga de un fácil acceso y se delimitará el recinto a fin de aislarlo del entorno.

El diseño higiénico de la industria debe ser tal que el flujo de la cadena de procesado sea desde la zona sucia a la zona más limpia de la industria, es decir, se evitarán cruces en la distribución de las diferentes zonas. El flujo de producción irá desde la recepción de las materias primas hasta la zona de filtración. Las distintas áreas de producción y trabajo estarán delimitadas y separadas convenientemente.

La edificación de tipo “horizontal” facilita el movimiento del producto logrando además una mayor ventilación, iluminación, así como una más eficaz evacuación de gases.

##### Construcciones

Las instalaciones deben considerarse no sólo por la idoneidad para el uso a que van a ser destinadas sino también por que faciliten las diferentes operaciones de limpieza y desinfección, trabajo y seguridad.

Pequeños detalles que a veces condicionan ésta facilidad de uso y limpieza son la separación entre tuberías y entre éstas y la pared al objeto de evitar acumulaciones de suciedad.

La iluminación, natural o artificial, deberá ser de intensidad suficiente para desarrollar adecuadamente el trabajo y poder detectar tanto problemas de suciedad como cualquier otro que se pudiese generar durante la producción.

Las pasarelas metálicas, preferentemente fabricadas con material continuo, no deben estar situadas por encima de productos alimenticios o de envases no embalados, ni por encima de las líneas de producción.

Considerar también la normativa sanitaria que prohíbe la presencia de motores de explosión dentro de las instalaciones de producción, y por tanto tampoco se autoriza el uso de transporte interior con motores de gasolina o diesel.

Las paredes deben ser de color claro permitir su limpieza, blanqueado y pintado. Se recomienda pintar con la frecuencia adecuada de forma que no acumule suciedad.

Los pavimentos serán lisos, impermeables, resistentes, lavables, ignífugos y con los sistemas de desagüe precisos que permitan la limpieza y saneamiento del suelo con facilidad y eficacia. Deben ser de materiales que resistan el peso de la maquinaria.

Los techos deben estar contruidos con materiales impermeables que no retengan suciedad, polvo, ni puedan albergar insectos. Deben ser lisos y lavables. Muy habitualmente se emplean láminas de porexpan (poliuretano expandido) que deben ser lavadas al menos cada año.

Los falsos techos, si existen, pueden ser un cobijo de insectos y roedores, por lo que se debe aplicar en ellos medidas de limpieza, desinfección y desratización.

Las ventanas y extractores estarán protegidos con telas mosquiteras que se ajusten perfectamente e impidan el acceso de insectos.

Las repisas de las ventanas son una fuente de contaminación, por la acumulación de polvo y suciedad por lo que se les dará una inclinación de al menos 60°.

#### Equipos y accesorios

Las uniones de tuberías y conducciones y sus codos deben estar exentas de resaltes interiores, ser fácilmente desmontables y con juntas de material sanitario

autorizado. Deben estar separadas entre ellas y con la pared a fin de facilitar su limpieza y minimizar la acumulación de suciedad.

Las instalaciones eléctricas deben estar protegidas, fáciles de limpiar sin que permitan la formación de rincones en los que se acumule polvo.

Se cuidará que la ventilación sea suficiente de manera que se eviten condensaciones, así como el crecimiento de mohos, malos olores y formación de humedades en muros y cubiertas.

Todos los desagües dispondrán de rejillas perfectamente insertadas y no desprenderán olores.

Los sistema de iluminación estarán protegidos para que en caso de rotura los cristales no pudiesen caer sobre el alimento.

Todos los recipientes, maquinaria, conducciones, depósitos, y demás materiales y superficies que tengan un contacto directo con alimentos deberán ser de características tales que no alteren el producto. Actualmente la mayor parte de los equipos en la industrias alimentarias son de acero inoxidable.

Las bombas y los equipos de impulsión deberán estar contruidos en materiales que no afecten a las características de las materias primas ni de los productos y resistentes a los mismos, incluidas las juntas.

El diseño de los depósitos debe evitar la presencia de ángulos y rincones, siendo el fondo cónico o esférico, con una pendiente mínima de un 1% y con válvula de drenaje en la parte inferior. Además todos deben poseer tapa.

Todas las uniones de válvulas y tuberías a los depósitos deben estar exentas de resaltes y rugosidades internas.

Los depósitos deben ser de materiales que no alteren las características de las sustancias que contengan. Lo más recomendable es el acero inoxidable, por su resistencia a la corrosión y sus condiciones higiénico-sanitarias, ya que es de fácil limpieza y desinfección.

## **9. RESIDUOS GENERADOS**

La industria alimentaria depende directamente del medioambiente para garantizar un suministro de materias primas que permita obtener productos libres de contaminantes adecuados para el consumo humano. Debido al amplio proceso de elaboración y de un gran volumen de materiales, la capacidad de repercutir en el medio ambiente es considerable.

### **9.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS**

Los residuos que se generan en una industria pueden dividirse en tres grandes grupos:

- Efluentes líquidos
- Efluentes o emisiones gaseosas.
- Residuos sólidos.

La principal fuente de contaminación de los efluentes líquidos es la materia orgánica que contienen, ésta provoca perturbaciones en los acuíferos, como consecuencia del desarrollo de microorganismos que consumen el oxígeno disuelto en el agua, en perjuicio de la flora y la fauna natural del medio.

Los residuos sólidos de los efluentes además de ser una fuente de contaminación pueden contribuir al taponamiento y deterioro de las bombas y canalizaciones en las instalaciones de tratamiento y depuración de aguas.

Los efluentes gaseosos, en función de su naturaleza pueden causar importantes daños, tanto al medio ambiente como a las personas.

### **9.2 EFLUENTES LÍQUIDOS**

La industria alimentaria genera un efluente líquido de residuos antes de su tratamiento con un contenido extremadamente alto de materia orgánica soluble. Si las corrientes de agua son demasiado pequeñas y el volumen de residuos que reciben

demasiado grande, esta materia orgánica utilizará el oxígeno disuelto y contaminarán o degradarán mediante la reducción de los niveles de este elemento a cifras inferiores a las que requieren organismos acuáticos normales.

La importancia de las aguas residuales varía considerablemente en función del tipo de fábrica, los procesos específicos aplicados y las características de las materias primas.

Las aguas residuales en este proceso se pueden dividir en 4 tipos distintos:

- *Aguas pluviales*. Esta agua limpia, siempre que se pueda deben separarse de las aguas contaminadas, y ser vertidas directamente al medio ambiente.
- *Aguas de intercambio calórico*. Son aquellas utilizadas en los procesos de refrigeración (fermentación alcohólica y acética) y calefacción (precalentador de miel y depósito de agua). Siempre que no hayan sufrido cambio en su composición pueden unirse a las aguas pluviales, o bien, ser utilizadas en procesos de limpieza. Suele existir una contaminación térmica en ellas, pero de poca relevancia, puesto que la temperatura que alcanzan en este proceso no es excesivamente alta.
- *Aguas de limpieza*. Llevan un alto contenido en materias contaminantes, por lo que serán deben ser tratadas antes de su vertido al alcantarillado general en una pequeña instalación fuera de la planta de proceso, por lo que no es objeto de diseño de este proyecto. Este tipo de agua contendrá restos de la fermentación alcohólica y acética, restos de miel como resultado de la limpieza de los depósitos y
- *Aguas sanitarias o fecales*. Son aguas que se pueden verter al alcantarillado general directamente por ser consideradas como aguas de uso doméstico.

Las corrientes de aguas residuales con valores de pH (acidez) extremos deben ser objeto de especial atención debido a su efecto sobre el tratamiento biológico, ya que pueden producir desequilibrios en la flora que se desarrolla en los fangos activos de la EDAR. Por esto se hace necesaria la instalación de un sistema de regulación de pH antes de que se produzca el vertido al alcantarillado. La combinación de cursos de agua con residuos ácidos y básicos puede dar lugar a la neutralización y, siempre que sea posible, la cooperación con industrias circundantes puede resultar muy beneficiosa.



### 9.3 EFLUENTES GASEOSOS

El principal efluente gaseoso presente en la instalación es el dióxido de carbono producido en las distintas fermentaciones que se llevan a cabo. Este CO<sub>2</sub> se desprende principalmente en los fermentadores pero se puede considerar que la concentración que existe en la atmósfera de la planta es insuficiente para causar daños significativos al medio ambiente y a las personas, debido a que se dispone de un buen sistema de ventilación, numerosas ventanas y una altura suficientemente elevada en toda la planta.

De la misma forma, se puede considerar que los demás efluentes gaseosos están presentes en concentraciones muy pequeñas, por lo que tampoco representan un peligro para el medio ambiente y las personas.

### 9.4 RESIDUOS SÓLIDOS

Los residuos sólidos pueden llegar a ser bastante importantes, pero mediante el aislamiento de dichos residuos la concentración de sustancias orgánicas solubles en las aguas residuales se reduce y los residuos sólidos pueden emplearse con mayor facilidad como subproductos, alimentos o combustible.

Todos los residuos sólidos generados en esta planta se gestionan como residuos sólidos urbanos. Aunque algunos de los residuos producidos en esta actividad industrial no precisan ser eliminados, y podrían ser susceptibles de otras aplicaciones que pueden tener rentabilidad incluso económica, como por ejemplo, el aprovechamiento de los fangos y lías de la fermentación para la obtención de tartratos y alcohol.

Los residuos sólidos que se generan en la planta son principalmente procedentes de la fermentación alcohólica, restos de sólidos y lías, que se llevarán a una planta adecuada para su tratamiento o reutilización como se ha comentado anteriormente.

## **9.5 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS**

La gran dependencia respecto al agua de las industrias alimentarias ha fomentado el desarrollo de programas de conservación y reutilización, sobre todo en lugares donde este recurso escasea. La reutilización del agua empleada en los distintos procesos puede facilitar una reducción sustancial de su consumo y de la carga de residuos, y la adopción de esta medida en numerosas aplicaciones de calidad inferior no exige un tratamiento biológico. Con todo, la posibilidad de fermentación anaeróbica de los sólidos orgánicos debe evitarse, de forma que los productos de descomposición, olorosos y corrosivos, no afecten a los equipos, el medio ambiente de trabajo y la calidad de los productos. El crecimiento bacteriano puede controlarse mediante la desinfección y la modificación de factores ambientales como el pH y la temperatura.

Los principales frentes de actuación en la minimización de residuos son la reducción de aguas de lavado y la reutilización de los residuos generados. Los residuos que se utilizan de nuevo para otra aplicación industrial o en cualquier tipo de actividad pasan a denominarse subproductos.

Para la reducción de los efluentes líquidos se debe utilizar la mínima cantidad de agua capaz de desarrollar una limpieza efectiva, para ello se emplea agentes desinfectantes cuando sea necesario. Las aguas residuales serán tratadas antes de vertidas al alcantarillado general.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Ingeniería Química. Operaciones Básicas. Couldson J.M. and Richardson J.F. Editorial Reverté. 1988.
- Hidromieles. Aldo L. Persano. Ed. Hemisferio Sur (1987) Buenos Aires, Argentina.
- Desarrollo de una tecnología para la producción industrial de hidromiel. José Barrera López. Universidad de Lugo (1990).
- Utilization of bee (*Apis mellifera*) Money for vinegar production. Departamento de Ciencia y tecnología de Alimentos, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC).
- Parámetros fisicoquímicos de mieles. Carolina Andrea Acquarone. Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina (2004).
- Manual del Ingeniero Químico. Robert H. Perry, Don W. Green. Editorial Mc Graw-Hill. Séptima Edición. 2001.
- Código ASME SECCIÓN VIII Div. 1. Diseño de recipientes.
- Manual de Recipientes a Presión. Diseño y cálculo. Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa. México. 1989.
- Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo. Procesos de la Industria Alimentaria.
- Boletín Oficial del Estado (B.O.E.).
- Apuntes de la asignatura de Proyectos y Oficina Técnica.
- Apuntes de la asignatura de Flujo de Fluidos y Transmisión de Calor.

**Direcciones webs de interés.**

[www.mapa.es](http://www.mapa.es) Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

[www.ine.es](http://www.ine.es) instituto nacional de estadística.

[www.culturaapicola.com](http://www.culturaapicola.com) Apícola Don Guillermo

[www.secovisa.com](http://www.secovisa.com)

[www.meadfest.com](http://www.meadfest.com) International Mead Festival

[www.lindisfarne-mead.co.uk](http://www.lindisfarne-mead.co.uk)

[www.ats.agr.gc.ca](http://www.ats.agr.gc.ca) Agri-food Trade Service

[www.coleparmer.com](http://www.coleparmer.com)

[www.implementosmarinari.com](http://www.implementosmarinari.com)

[www.apinorte.com](http://www.apinorte.com)

[www.dosapro.com](http://www.dosapro.com)

[www.asociacion-tierra.org](http://www.asociacion-tierra.org) Asociación de calidad de los productos “Sierra de Cádiz”.

[www.cimne.upc.es](http://www.cimne.upc.es) Entorno virtual para el sector alimentario.

[www.sagpya.gov.ar](http://www.sagpya.gov.ar) Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentos de Argentina.

[www.aesa.msc.es](http://www.aesa.msc.es) Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición.

[www.apitrack.com](http://www.apitrack.com)

[www.apisanz.com](http://www.apisanz.com)

[www.solorb.com/mead](http://www.solorb.com/mead)

[www.gotmead.com](http://www.gotmead.com)

[www.tecnociencia.es](http://www.tecnociencia.es)

# **ANEXOS DE CÁLCULO**

## **ÍNDICE ANEXOS DE CÁLCULO**

ANEXO I. Cálculo de la cantidad de materia prima, miel y agua.....	94
Anexos Diseño Mecánico de Recipientes	
ANEXO II.1 Cálculo del tamaño óptimo de los recipientes.....	96
ANEXO II.2 Datos básicos para el diseño de depósitos.....	98
ANEXO II.3 Diseño mecánico depósito de miel.....	103
ANEXO II.4 Diseño mecánico precalentador de miel.....	115
ANEXO II.5 Diseño mecánico depósito de agua.....	124
ANEXO II.6 Diseño mecánico fermentador alcohólico.....	134
ANEXO II.7 Diseño mecánico decantador.....	143
ANEXO II.8 Diseño mecánico depósito de hidromiel.....	153
ANEXO II.9 Diseño mecánico fermentador acético.....	162
ANEXO II.10 Diseño mecánico mezclador.....	171
Anexos Sistemas de Termostatización	
ANEXO III.1 Calor que se desprende en la fermentación alcohólica.....	180
ANEXO III.2 Calor que se desprende en la fermentación acética.....	181
ANEXO III.3 Sistema de refrigeración del fermentador acético.....	182
ANEXO III.4 Sistema de calefacción del depósito de agua.....	204
ANEXO IV. Cálculo y selección de conducciones y equipos para la impulsión de líquidos.....	205

## **ANEXO I. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE MATERIA PRIMA:** **MIEL Y AGUA**

Como se ha comentado, la miel de partida hay que diluirla en agua hasta que la disolución presente una concentración de azúcar de aproximadamente 6° Baumé para que de esta forma se obtengan, después de la fermentación alcohólica, una hidromiel con 6% alcohol.

➤ **Datos iniciales de la miel**

80° Brix (~44,4° Baumé)

755 g/l azúcares

Densidad 1,4 kg/l

➤ **Datos de la disolución acuosa de miel**

10,8° Brix (6,02° Baumé)

90,8 g/l azúcares

Densidad 1,0483 kg/l

Para conocer los grados Brix y grados Baumé de las sustancias se emplean las relaciones siguientes:

$$1^\circ \text{ Baumé} \cdot 1,8 = 1^\circ \text{ Brix}$$

$$1^\circ \text{ Baumé} \sim 17 \text{ g/l azúcares}$$

➤ **Ecuaciones:**

Con los datos de la miel, del agua y los datos de la disolución que se requiere como medio para que se lleve a cabo la fermentación se plantea un balance y se obtiene la cantidad de agua y de miel necesaria para dicha mezcla.

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{miel}} + V_{\text{agua}} &= V_{\text{disolución}} \\ \text{° Baumé}_{\text{miel}} \cdot V_{\text{miel}} &= \text{° Baumé}_{\text{disol.}} \cdot V_{\text{disol.}} \end{aligned} \right\}$$

➤ Resultados:       $V_{\text{miel}} = 103 \text{ L} \rightarrow 144 \text{ kg de miel}$   
                                  $V_{\text{agua}} = 657 \text{ L}$



## **ANEXO II.1 CÁLCULO DEL TAMAÑO ÓPTIMO DE LOS RECIPIENTES**

El objetivo de este apartado es determinar la relación correcta entre la longitud y el diámetro de cada recipiente. Como el procedimiento es el mismo para todos los depósitos se toma el fermentador alcohólico como ejemplo de cálculo y se mostrarán en una tabla los resultados para los demás depósitos.

Se conoce la capacidad que debe tener dicho fermentador, así que se pueden determinar las dimensiones a partir del gráfico de Abakians<sup>1</sup>. Para el fermentador acético se obtendrán las mismas dimensiones puesto que tendrán la misma capacidad.

Para poder utilizar dicho gráfico es necesario conocer el valor de F, según la ecuación siguiente:

$$F = \frac{P}{c \cdot S \cdot E}$$

siendo

P: presión de diseño, 49,7816 lb/pulg<sup>2</sup> (psi) (3,5 kg/cm<sup>2</sup>).

c: corrosión, 0,05906 pulg (1,5 mm).

S: tensión máxima admisible o esfuerzo del material para la temperatura de diseño T<sub>D</sub> = 48° C, S = 13300 psi.

E: eficiencia de soldadura, 0,85.

El resultado que se obtiene al sustituir los datos en la ecuación de arriba:

$$F = 0,075$$

Se entra en la gráfica por ordenadas con el volumen deseado del recipiente, en este caso 1 m<sup>3</sup> (35,3146 pies<sup>3</sup>). Se recorre horizontalmente hasta la línea que representa el valor de F. Se continúa verticalmente hacia abajo en el eje de abscisas donde se lee el valor del diámetro.

Para el fermentador D<sub>interior</sub> = 1,6 pies = 0,488 m.

La longitud o altura del fermentador considerando que se trata de un cilindro ideal será:

<sup>1</sup> Procedimiento del Manual de recipientes a presión.

$$L = \frac{4 \cdot V}{\pi D^2} \Rightarrow L = 5,35m$$

siendo

D: diámetro interior del fermentador calculado gráficamente: 0,488 m.

V: volumen del depósito: 1 m<sup>3</sup>.

Sin embargo, la relación altura-diámetro (H/D) para el fermentador con las dimensiones obtenidas resulta un valor demasiado grande (10,96). Entonces, se elige una relación H/D = 1,5 y a partir de éste dato se pueden estimar la altura y el diámetro de la siguiente manera:

$$\frac{H}{D} = 1,5 \Rightarrow H = 1,5D$$

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times H \Rightarrow \text{sustituyendo: } V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times 1,5D = 0,375 \cdot \pi \cdot D^3 \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{V}{0,375 \cdot \pi}}$$

Y se obtiene un valor  $D = 0,947m \Rightarrow H = 1,421m$

La metodología de cálculo sería la misma para los demás recipientes de la planta como se comentó al principio de este anexo; sólo hay que tener en cuenta las propiedades de cada uno respecto al material y temperatura. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Recipiente	Volumen(m <sup>3</sup> )	H/D	Diámetro(m)	Altura(m)
Depósito de Agua	1	1,5	0,947	1,421
Depósito de miel	6	1,25	1,828	2,285
Precalentador de miel	0,125	1,5	0,473	0,710
Fermentador alcohólico	1	1,5	0,947	1,421
Decantador	1	1,25	1,006	1,258
Depósito de Hidromiel	5	1,5	1,619	2,429
Fermentador acético	1	1,5	0,947	1,421
Mezclador	5	1,5	1,619	2,429

Tabla 13. Dimensiones de los depósitos y fermentadores.

Estas son las dimensiones aproximadas que tendrán los depósitos y fermentadores, ya que para conocer las dimensiones exactas es necesario conocer el espesor de cada parte de los recipientes, cálculo que se realiza en el siguiente apartado.

## ANEXO II.2 DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO MECÁNICO DE LOS RECIPIENTES

A la hora de empezar a hacer el diseño mecánico de un recipiente sometido a presión es necesario previamente disponer de unos datos básicos que se calculan en éste apartado. Previo a abordar con los cálculos del diseño. Dichos datos básicos son los siguientes:

- Presión de diseño o de proyecto.
- Temperatura de diseño o de proyecto.
- Tipo de material.
- Velocidad o presión del viento en la zona para la que se proyecta.
- Coeficiente sísmico.
- Corrosión máxima prevista para la vida del elemento.
- Soldadura e inspección radiográfica.
- Código a utilizar para su diseño y cálculo.
- Tensiones máximas admisibles.

### ➤ Presión de diseño ( $P_D$ )

Ésta presión de diseño debe ser en todo caso mayor a la máxima de operación o servicio. Su valor se puede fijar eligiendo el mayor de los siguientes valores:

- $P_D \geq 1,1 \cdot P_{m\acute{a}x.deoperaci\acute{o}n} \text{ (kg / cm}^2\text{)}$
- $P_D \geq P_{m\acute{a}x.deoperaci\acute{o}n} + 2 \text{ kg / cm}^2$
- $P_D \geq 3,5 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, es necesario determinar antes la máxima presión de diseño:

$$P_{m\acute{a}x.operaci\acute{o}n} = P_{atm} + P_{columnal\acute{l}quido}$$

En este proyecto todos los recipientes estarán sometidos a la presión atmosférica, y la suma de la presión de la columna de líquido no aumentará en un valor

considerable la presión atmosférica, así que se toma como presión máxima de operación la presión atmosférica. Por tanto, se usará una presión de diseño ( $P_D$ ) de  $3,5 \text{ kg/cm}^2$  en todos los cálculos posteriores.

➤ **Temperatura de diseño ( $T_D$ )**

Al igual que en el apartado anterior, la temperatura de diseño debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, y es habitual adoptar como temperatura de diseño el valor de:

$$T = \text{máx. temperatura de operación} + 20^\circ\text{C}$$

En este caso, el fermentador alcohólico trabajará a una temperatura máxima de  $28^\circ \text{C}$ , lo que da una temperatura de diseño de  $48^\circ \text{C}$ . Los depósitos de almacenamiento tendrán una temperatura de operación ambiental según las épocas del año, la cual se puede suponer máxima de  $40^\circ\text{C}$  y la temperatura de diseño será entonces de aproximadamente  $60^\circ \text{C}$  para los depósitos. En el caso del fermentador acético la temperatura máxima de operación será de  $32^\circ\text{C}$  y la temperatura de diseño será de  $52^\circ\text{C}$ .

➤ **Tipo de material**

Para los depósitos y el fermentador alcohólico se utilizará acero inoxidable AISI 304L, ya que ninguno de los fluidos que estarán en contacto con ellos es excesivamente agresivo. Sin embargo, dado que en la nave de fermentación acética el fluido del proceso será vinagre, los depósitos y el fermentador serán construidos en acero inoxidable AISI 316L (ambos materiales están incluidos en SA-240).

➤ **Velocidad o presión del viento**

Al igual que la presión interna, el viento produce unas tensiones en las paredes del recipiente que pueden producir la inestabilidad mecánica del mismo. En este caso no es necesario estudiarlo porque al estar en el interior de una nave no se aprecia el viento.

➤ **Coefficiente sísmico (z)**

La acción sísmica no es uniforme en el globo terrestre, existiendo diversa probabilidad de producirse movimiento sísmico en unas u otras zonas y diferente intensidad de movimiento en caso de producirse. Por lo tanto, mientras en unas zonas no es necesario tener en cuenta los posibles efectos de movimientos sísmicos a la hora de diseñar recipientes, como es éste caso, hay otras zonas en las que sí es necesario prever tal posibilidad y para ello se procede a determinar el coeficiente sísmico siguiendo los métodos impuestos por la reglamentación del país.

➤ **Espesor mínimo de pared ( $t_{\min}$ )**

Bien por norma, código, requerimientos de transporte, etc. se debe fijar un valor mínimo de espesor de la envolvente. El espesor mínimo, excluido el sobre-espesor por corrosión admisible de las envolventes y fondos, será el mayor de los siguientes valores:

- exigido por el Código ASME Sección VIII División 1:

$$t = 2,5 + c(mm)$$

siendo

c: corrosión máxima prevista.

- según las fórmulas:

$$t_{\min} = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm)$$

$$t_{\min} = 5 + c(mm) \text{ para aceros al carbono.}$$

$$t_{\min} = 3(mm) \text{ para aceros inoxidable.}$$

En apartados posteriores se detallará el espesor de la envolvente y fondos para cada recipiente.

➤ **Corrosión máxima prevista para la vida del elemento (c)**

La corrosión se puede definir como la erosión química causada por agentes con o sin movimiento. Es la destrucción gradual de un metal o aleación debida a procesos como la oxidación o la acción de un agente químico.

Los recipientes o partes de los mismos que estén sujetos a corrosión, erosión o abrasión mecánica deben tener un margen de espesor para lograr la vida deseada, aumentando convenientemente el espesor del material respecto al determinado por las fórmulas de diseño, o utilizando algún método adecuado de protección (Norma UG-25b).

Se toma  $c = 1,5$  mm dado que se ha elegido acero de alta aleación.

➤ **Soldadura e inspección radiográfica**

La unión entre chapas se realiza, normalmente, por medio de una soldadura, y ésta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que puede producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material. Esta razón, junto con la posibilidad de producirse defectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que está sometida la zona próxima a la soldadura, dan lugar a considerar la zona de soldadura como debilitada.

Teniendo en cuenta éste hecho, en el cálculo de los recipientes se introduce una reducción en la tensión máxima admisible, multiplicando ésta por un coeficiente denominado eficiencia de la soldadura (E), cuyo valor varía según las normas o códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella.

➤ **Código a utilizar para el diseño y cálculo**

En todo momento el diseño de recipientes se regirá mediante el Código A.S.M.E., en concreto la Sección VIII, División 1, que recoge los requerimientos para el diseño de los recipientes a presión.

➤ **Tensión máxima admisible (S)**

Los recipientes a presión se calculan con unos espesores de pared capaces de soportar sin deformación la presión a la que se verán sometidos. Es decir, que la presión a la que trabaja el material sea inferior a la máxima tensión admisible del mismo.

Esta tensión máxima admisible depende de las características del material y del coeficiente de seguridad que se adopte, variando con la temperatura de trabajo. Cada norma o código obtiene el valor de la tensión máxima admisible de forma distinta, aunque en general las variables que se barajan son casi siempre las mismas.

Según el código ASME Sección VIII División 1, la máxima tensión admisible (S) a la temperatura del proyecto o diseño es el mínimo de los siguientes valores:

$$S = \min\left(\frac{R'}{4}; \frac{5}{8}y; f_L; \frac{2}{3}f_r\right)$$

- S: tensión máxima admisible a la temperatura del proyecto (kg/cm<sup>2</sup>).
- R': carga de rotura a la temperatura ambiente (20° C) (kg/cm<sup>2</sup>).
- y: límite elástico o carga que produce una deformación permanente del 0,2% a la temperatura de diseño o proyecto (kg/cm<sup>2</sup>).
- f<sub>L</sub>: carga que produce un alargamiento del 1% en 100.000 horas por deformación viscosa, a la temperatura de diseño o proyecto (kg/cm<sup>2</sup>).
- f<sub>r</sub>: carga de rotura, por alargamiento en 100.000 horas, a la temperatura de diseño o proyecto (kg/cm<sup>2</sup>).

Para los materiales ASTM-ASME el Código ASME Sección VIII División 1 contiene unas tablas (UCS-23) que muestran las tensiones máximas admisibles para cada material a distintas temperaturas.

### **ANEXO II.3 DISEÑO MECÁNICO DEL DEPÓSITO DE MIEL**

Las dimensiones y variables para diseñar el depósito de miel son las siguientes:

V: volumen, 6000 L (6 m<sup>3</sup>).

H/D: relación altura/diámetro, 1,25.

D: diámetro interior, 1,828 m.

H: altura, 2,285 m.

T<sub>máx.operación</sub> : temperatura máxima de operación, 40° C.

T<sub>diseño</sub> : temperatura de diseño, 60° C (140° F).

P<sub>operación</sub> : presión de operación, 1 atm.

P<sub>diseño</sub> : presión de diseño, 3,5 kg/cm<sup>2</sup>.

S<sub>(acero 304L, placa SA-240, T=140° F)</sub> : tensión admisible, 13400 lb/pulg<sup>2</sup> (psi) (942,1 kg/cm<sup>2</sup>).

c: espesor de corrosión, 1,5 mm

E: eficiencia de soldadura, 0,85.

#### **1. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LA ENVOLVENTE**

Para calcular el espesor mínimo de la envolvente se hace según dos apartados diferentes.

##### **1.1 Por especificación.**

A su vez se estiman dos valores diferentes:

$$\bullet \quad t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(mm) = \frac{1828}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,868mm$$

Se supone D<sub>0</sub> (diámetro exterior) como D (diámetro interior) ya que no se dispone de ningún dato aún de espesor para poder calcularlo.

$$\bullet \quad t_{\text{acero inoxidable}} = 3 \text{ mm}$$



### 1.2 Según ASME Sección III División 1:

- ❖ Por tensión longitudinal:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4P} + c(mm)$$

siendo,

P: presión de diseño (kg/cm<sup>2</sup>)

R: radio interior (mm)

$$t = \frac{3,5 \times 1828 / 2}{942,1 \times 0,85 + 0,4 \times 3,5} + 1,5 = 5,49mm$$

- ❖ Por tensión circunferencial:

$$t = \frac{P \cdot R_i}{S \cdot E - 0,6P} + c(mm) = \frac{3,5 \times 914}{942,1 \times 0,85 - 0,6 \times 3,5} + 1,5 = 5,51mm$$

Después de éstos cálculos se toma como espesor mínimo para la envolvente el máximo valor de los cuatro calculados anteriormente, que es 5,868 mm (regido por la expresión de especificación) y al normalizarlo se tomará un espesor de 6 mm.

## 2. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LOS FONDOS

La presión del depósito se puede considerar media o baja y para éste rango de presiones se aconsejan 3 tipos de fondos:

- a) Fondos elípticos 2:1.
- b) Fondos Policéntricos tipo Korboggen.
- c) Fondos Policéntricos tipo Koppler.

A continuación se muestran las ecuaciones para determinar el espesor de los fondos según el "Manual de Recipientes a Presión".

a) Fondos elípticos 2:1

$$t = \frac{P \cdot D}{2SE - 0,2P} + c$$

b) Fondos policéntricos

$$\text{➤ Si } L/r < 16 \frac{2}{3} \rightarrow t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2SE - 0,2P} + c \quad [1]$$

$$\text{➤ Si } L/r = 16 \frac{2}{3} \rightarrow t = \frac{0,885 \cdot P \cdot L}{SE - 0,1P} + c \quad [2]$$

donde:

$$\text{Factor M es } \frac{3 + \sqrt{L/r}}{4}$$

Y las ecuaciones para determinar las dimensiones de los fondos tipo Korboggen y tipo Koppler son:

$$\begin{aligned} 1) \text{ tipo Korboggen} \quad & L = 0,8 \cdot D_0 \\ & r = 0,154 \cdot D_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ tipo Koppler} \quad & L = D_0 \\ & r = D_0 / 10 \end{aligned}$$

siendo  $D_0 = D + 2t$

El resultado que se obtiene para estos dos tipos de fondos es:

$$1) \text{ tipo Korboggen} \quad \begin{aligned} L &= 1472mm \\ r &= 283,36mm \end{aligned} \rightarrow L/r = 5,19 < 16 \frac{2}{3}$$

$$2) \text{ tipo Koppler} \quad \begin{aligned} L &= 1840mm \\ r &= 184,0mm \end{aligned} \rightarrow L/r = 10 < 16 \frac{2}{3}$$

Luego, para ambos casos se utilizará la ecuación [1] y los resultados para los 3 tipos de fondos son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de fondo	M	t (mm)
Elíptico 2:1	-	5,50
Korboggen	1,32	5,74
Koppler	1,54	7,70

Tabla 14. Factor M y espesor, t, para los distintos tipos de fondos.

Se tomará el fondo que requiera menor espesor para que sea más económico. Por tanto, se toma el fondo elíptico 2:1 de espesor 5,50 mm para el fondo superior del depósito, que al normalizarlo será de 6 mm.

Sin embargo, el fondo inferior del depósito de miel será de tipo cónico para facilitar la descarga de la miel y su posterior transporte al precalentador. Y las ecuaciones para este fondo son las siguientes:

- *Dimensiones:*

$$\alpha = 60^\circ$$

$$D_i = 1828\text{mm}$$

$$H = \frac{D/2}{\text{tg}\alpha} \Rightarrow H = 528\text{mm}$$

- *Espesor:*

- Sometido a tensión longitudinal

$$t = \frac{P \cdot D}{4 \cos \alpha \cdot (SE + 0,4P)} \Rightarrow t = 3,99 + c = 5,49\text{mm}$$

- Sometido a tensión circunferencial

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cos \alpha \cdot (SE - 0,6 \cdot P)} \Rightarrow t = 8,01 + c = 9,51\text{mm}$$

Así, el fondo cónico tendrá un espesor de 9,51 mm, que al normalizar se obtiene un valor de 10 mm.

Por tanto, el recipiente tendrá un espesor de 10 mm en todos los componentes que lo forman.

### 3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PESTAÑA (h)

La pestaña es la parte cilíndrica del fondo donde se realiza la soldadura entre el cabezal y la envolvente. Se toma esta pestaña para evitar las soldaduras en la línea de tangencia entre el cabezal y la envolvente, porque es donde se acumulan todas las tensiones.

El valor de h será el mayor resultado de los siguientes casos:

$$h = 25\text{mm}$$

$$h = 3 \cdot t_{\text{Fondo}}$$

$$h = 0,3 \cdot \sqrt{D_0 \cdot t_{\text{Fondo}}}$$

El mayor valor que se obtiene son 40,78 mm, que al normalizarlo se tomará una altura de pestaña de 41 mm.

### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL DEPÓSITO DE MIEL

Se procede a calcular las dimensiones reales teniendo en cuenta los fondos.

El volumen total del depósito será:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{ENVOLVENTE}} + 2V_{\text{FONDOS}} + 2V_{\text{PESTAÑA}}$$

El volumen total es conocido, es  $6 \text{ m}^3$ , y a partir de éste dato se calcularán los demás.

$$V_{\text{FONDOSUPERIOR}} = 0,13 \cdot D^3 = 0,13 \times 1,828^3 = 0,794\text{m}^3$$

$$V_{\text{FONDOCÓNICO}} = \frac{A_{\text{base}} \cdot H}{3} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot H}{3} = \frac{\pi \times 0,914^2 \times 0,528}{3} = 0,462\text{m}^3$$

$$V_{\text{PESTAÑA}} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi \times 1,828^2}{4} \times 0,041 = 0,108\text{m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen total:

$$6m^3 = V_{ENVOLVENTE} + 0,794 + 0,462 + 2 \times 0,108 \Rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 4,528m^3$$

Al igual que con el volumen se puede hacer con la altura:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + H_{FONDOCÓNICO} + H_{FONDOSUPERIOR} + 2h \text{ (h: altura de la pestaña)}$$

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi D^2}{4} H \Rightarrow H_{ENVOLVENTE} = \frac{4V_{ENVOLVENTE}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 4,528}{\pi \times 1,828^2} = 1,725m$$

$$H_{FONDOSUPERIOR} = 0,25 \cdot D = 0,25 \times 1,828 = 0,457m$$

Luego, sustituyendo los datos en la ecuación total:

$$H_{TOTAL} = 1,725 + 0,528 + 0,457 + 2 \times 0,041 = 2,792m$$

Se tendrá un volumen útil distinto al volumen total y en dicho volumen útil no se considera el fondo superior. Se calcula de la siguiente manera:

$$V_{ÚTIL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDOCÓNICO} + 2V_{PESTAÑA}$$

$$V_{ÚTIL} = 4,528 + 0,462 + 2 \times 0,108 = 5,206m^3$$

Como resumen se tendrá la siguiente tabla:

<b>DEPÓSITO DE MIEL</b>		
<b>ENVOLVENTE</b>	ESPELOR (mm)	10,000
	ALTURA (m)	1,725
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	4,528
<b>FONDO Superior</b>	ESPELOR (mm)	10,000
	ALTURA (m)	0,457
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,794
<b>FONDO Inferior (Cónico)</b>	ÁNGULO	60°
	ESPELOR (mm)	10,000
	ALTURA (m)	0,528
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,462
<b>PESTAÑA</b>	ALTURA (m)	0,041
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,108
<b>ALTURA TOTAL<sup>3</sup> (m)</b>		2,792
<b>DIÁMETRO INTERIOR (m)</b>		1,828
<b>DIÁMETRO EXTERIOR (m)</b>		1,848
<b>VOLUMEN ÚTIL (m<sup>3</sup>)</b>		5,206

Tabla 15. Dimensiones del depósito de miel.

## 5. ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de distintas intensidades en las componentes del recipiente. El tipo de intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

Las cargas en este caso son:

- Presión interna.
- Peso del recipiente y su contenido.
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos.

<sup>3</sup> La suma de las distintas partes del depósitos sin incluir los apoyos.

No se tendrán en cuenta los esfuerzos debidos a los movimientos sísmicos, por la zona en la que se encuentra, y tampoco los debidos a las cargas del viento, por encontrarse en el interior de una nave.

### 5.1 Cálculo de la tensión longitudinal en la envolvente debida a la presión interna.

$$\sigma_{Pa} = \frac{P(D+2c)}{4(t-c)} = \frac{3,5 \times (1828 + 2 \times 1,5)}{4 \times (10 - 1,5)} = 188,49 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{Pa}$ : tensión longitudinal en kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.2 Cálculo de pesos y tensiones debidas a esos pesos.

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión.

#### a) MONTAJE Y PARADA

Se calcula el peso de la envolvente sin líquido en el interior, es decir, el propio de la envolvente y la tensión debida a ese peso.

- Peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} P_{ENVOLVENTE} &= \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H \cdot \rho_{material} \cdot 10^{-6} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (D_0^2 - D^2) \times H_{ENV} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (1848^2 - 1828^2) \times 1725 = 781,85 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\rho_{material} = 7,85 \text{ kg/cm}^3$$

- Tensión debida al peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} \sigma_{TENSION} &= \frac{4P_{ENVOLVENTE} \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D+2c)^2)} = \frac{4 \times 781,85 \cdot 10^2}{\pi(1848^2 - (1828 + 2 \times 1,5)^2)} \\ \sigma_{TENSION} &= 1,59 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## b) OPERACIÓN

En este caso es donde se tiene en cuenta el líquido en el interior de la envolvente, el peso propio de la envolvente y también se tendrán en cuenta los fondos y las tuberías conectadas al fermentador.

- Peso de la envolvente.

$$P_{ENVOLVENTE} = 781,85 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

- Peso del líquido en la envolvente.

$$P_{LÍQUIDO} = V_{LÍQ} \cdot \rho_{LÍQ}$$

siendo

$\rho_{LÍQ}$ : la densidad de la miel,  $1400 \text{ kg/m}^3$  ( $25^\circ\text{C}$ ).

$V_{LÍQUIDO}$ : es el volumen que ocupa la miel en la envolvente ( $\text{m}^3$ ).

$$V_{LÍQUIDO} = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi \times 1,828^2}{4} \times 1,725 = 4,527 \text{ m}^3$$

$$P_{LÍQ} = 4,527 \times 1400 = 6338,10 \text{ kg}$$

- Peso del líquido en los fondos.

Teniendo en cuenta que los fondos elegidos son tipo elíptico y cónico, se calculará por separado el peso del líquido en cada uno:

- En el fondo elíptico:

$$P_{LÍQUIDO} = V_{LÍQ} \cdot \rho_{LÍQ} = 0,794 \times 1400 = 1111,6 \text{ kg}$$

- En el fondo cónico:

$$P_{LÍQUIDO} = V_{LÍQ} \cdot \rho_{LÍQ} = 0,492 \times 1400 = 688,8 \text{ kg}$$

- Peso de los fondos.

$$P_{FONDOS} = 653,75 \text{ kg}$$



- Peso de las tuberías.

Se incrementará un 5% el peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10 (como es en este caso). Por tanto:

$$P_{TUBERÍAS} = 0,05 \times P_{ENVOLVENTE} = 0,05 \times 781,85 = 39,09 \text{ kg}$$

- Peso total.

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i=1} P_i = P_{ENV} + P_{1.LIQ} + P_{FONDOS} + P_{2.LIQ} + P_{TUB} = \\ &= 781,85 + 6338,10 + 1111,6 + 688,8 + 653,75 + 39,09 = 9613,19 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Tensión debida al peso total.

$$\sigma_{w_i} = \frac{4W_j \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 9613,19 \cdot 10^2}{\pi(1848^2 - (1828 + 2 \times 1,5)^2)} = 19,57 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. CÁLCULO DEL DISEÑO DEL APOYO DEL DEPÓSITO

Para saber el tipo de soporte y el número de ellos necesarios se debe observar la tabla en la que aparecen los distintos tipos en función del diámetro del recipiente.

Diámetro ext. del recipiente	Patatas del soporte			Placas		Situación Taladros	"A" <sup>2</sup>	Diám. Pernos	Diám. Taladros	Carga Máxima (kg)
	Nº	Tipo	Dimensiones	Lado	Espesor					
Hasta 750	3	L	70×70×10	120	10	Diámetro Exterior del recipiente -50	40	20	26	15.400
750-1050			80×80×10	150	12		45			22.500
1050-1350	4	L	100×100×10	200	10		65	27	33	31.500
1350-1650			100×100×14							48.500
1650-1950			150×150×16	250	12					62.500
1950-2260										82.000
2260-2565										85.000
2565-2870	6	I	200×90	Ver plano						150.000
2870-3200			280×119							85.000
>3200	Utilizar Faldón									

Tabla 16. Apoyos para recipientes verticales<sup>3</sup>.

El diámetro exterior del depósito es de 1848 mm, por lo que según la tabla anterior se proyectan como soportes 4 patas en forma de L de 100×100×14mm, de altura aproximada de 1 m, del mismo material del que se ha realizado el depósito, es decir, acero inoxidable AISI 304L. Se soldará a una placa cuadrangular de 200 mm de lado y 10 mm de espesor. El conjunto irá anclado al suelo mediante unos pernos de anclaje, los cuales tendrán un diámetro de 27 mm. El diámetro de la situación de los taladros en el recipiente se obtiene de la expresión:

$$D_o - 50 = 1848 - 50 = 1798mm$$

Para cada taladro se debe hacer un diámetro de 33 mm.

El valor de A, es decir, la distancia que hay desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular, será de 65 mm.

La carga máxima que soportará el depósito en ésta situación, cargado de líquido, será de 48500 kg y, en éste caso, se comprueba que puede soportar todo el peso del depósito, ya que éste es 9613,19 kg, calculado en el apartado anterior.

<sup>2</sup> Distancia desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular.

<sup>3</sup> Todas las dimensiones están en mm.

## 7. CÁLCULOS DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

### 7.1. Tensión admisible a tracción

La máxima tensión a tracción a la que éste tipo de elementos pueden estar sometidos no podrá superar la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, es decir, 60° C, que se especifica en el apartado UG-23.a del Código ASME, Sección VIII, División 1, para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 304L) ( $S = 13400 \text{ psi} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$ ) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ( $E = 0,85$ ).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2. Tensión admisible a compresión

Tensión admisible para  $E = 1$ .

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.3. Tensión admisible a pandeo

Será el valor menor de los siguientes:

- $\frac{1}{3} \times \text{lim.elástico} = \frac{1}{3} \times 2386,9 = 795,63 \text{ kg/cm}^2$
- $1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(t-c)}{R_0} = 1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(10-1,5)}{924} = 965,91 \text{ kg/cm}^2$

Por tanto, será  $\sigma_{PANDEO} = 795,63 \text{ kg/cm}^2$

### 7.4. Tensión admisible a prueba

Será el valor menor de los siguientes:

- $0,9 \times \text{lim.elástico} = 0,9 \times 2386,9 = 2148,21 \text{ kg/cm}^2$
- $0,495 \times \text{CARGA rotura} = 0,495 \times 5691,8 = 2817,44 \text{ kg/cm}^2$

Por tanto, la máxima tensión será  $\sigma = 2148,21 \text{ kg/cm}^2$

## **ANEXO II.4 DISEÑO MECÁNICO DEL PRECALENTADOR DE MIEL**

Las dimensiones elegidas para diseñar el precalentador son las siguientes:

$$V = 125 \text{ L} = 0,125 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 473 \text{ mm}$$

$$H = 710 \text{ mm}$$

$$T_{\text{máx.operación}} = 38^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 58^\circ \text{ C} = 136,4^\circ \text{ F}$$

$$P_{\text{operación}} = 1 \text{ atm}$$

$$P_{\text{diseño}} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{\text{(acero 304L, placa SA-240, T=136,4° F)}} = 13400 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (psi)} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

### **1. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LA ENVOLVENTE**

Para calcular el espesor mínimo de la envolvente se hace según dos apartados diferentes.

#### **1.1 *Por especificación.***

A su vez se estiman dos valores diferentes:

$$\bullet \quad t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(\text{mm}) = \frac{473}{1000} + 2,54 + 1,5 = 4,51 \text{ mm}$$

Se supone  $D_0$  (diámetro exterior) como  $D$  ya que no se dispone de ningún dato aún de espesor para poder calcularlo.

$$\bullet \quad t_{\text{acero inoxidable}} = 3 \text{ mm}$$

### 1.2 Según ASME Sección III División 1:

- ❖ Por tensión longitudinal:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4P} + c(mm)$$

siendo,

P = presión de diseño (kg/cm<sup>2</sup>)

R = radio interior (mm)

$$t = \frac{3,5 \times 473 / 2}{942,1 \times 0,85 + 0,4 \times 3,5} + 1,5 = 2,53mm$$

- ❖ Por tensión circunferencial:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6P} + c(mm) = \frac{3,5 \times 236,5}{942,1 \times 0,85 - 0,6 \times 3,5} + 1,5 = 2,54mm$$

Después de éstos cálculos se toma como espesor mínimo para la envolvente el máximo valor de los cuatro calculados anteriormente, que es 4,51 mm (regido por la expresión de especificación) y al normalizarlo se tomará un espesor de 5 mm.

## 2. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LOS FONDOS

Al igual que para el cálculo de los fondos del depósito de miel se consideran los 3 tipos de fondos: elíptico, Korboggen y Koppler, y se elegirá el que requiera menor espesor y cumpla los mismos requisitos.

Los resultados para los 3 tipos de fondos son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de fondo	L (mm)	r (mm)	M	t (mm)
Elíptico 2:1	-	-	-	2,53
Korboggen	386,4	74,38	1,32	2,62
Koppler	483	48,3	1,54	3,13

Tabla 27. Espesores calculados para los distintos tipos de fondos.

Se tomará el fondo que requiera menor espesor para que sea más económico. Por tanto, se toma el fondo elíptico 2:1 de espesor 2,53 mm, que al normalizarlo sería de 3 mm. Pero se construirá todo el recipiente con un espesor de 5 mm, ya que es el mínimo necesario para la envolvente.

### 3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PESTAÑA (h)

La pestaña es la parte cilíndrica del fondo donde se realiza la soldadura entre el cabezal y la envolvente. Se toma esta pestaña para evitar las soldaduras en la línea de tangencia entre el cabezal y la envolvente, porque es donde se acumulan todas las tensiones.

El valor de h será el mayor resultado de los siguientes casos:

$$h = 25\text{mm}$$

$$h = 3 \cdot t_{\text{Fondo}}$$

$$h = 0,3 \cdot \sqrt{D_0 \cdot t_{\text{Fondo}}}$$

El mayor valor que se obtiene son 25 mm, y es el que se toma para la altura de la pestaña.

### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL PRECALENTADOR

Se procede a calcular las dimensiones reales teniendo en cuenta los fondos.

El volumen total del depósito será:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{ENVOLVENTE}} + 2V_{\text{FONDOS}} + 2V_{\text{PESTAÑA}}$$

El volumen total es conocido, es  $0,125 \text{ m}^3$ , y a partir de éste dato se calcularán los demás.

$$V_{\text{FONDO}} = 0,13 \cdot D^3 = 0,13 \times 0,473^3 = 0,014\text{m}^3$$

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi \times 0,473^2}{4} \times 0,025 = 0,004m^3$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen total:

$$0,125m^3 = V_{ENVOLVENTE} + 2 \times 0,014 + 2 \times 0,004 \Rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 0,089m^3$$

Al igual que con el volumen se puede hacer con la altura:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2H_{FONDOS} + 2h$$

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi D^2}{4} H \Rightarrow H_{ENVOLVENTE} = \frac{4V_{ENVOLVENTE}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0,089}{\pi \times 0,473^2} = 0,506m$$

$$H_{FONDO} = 0,25 \cdot D_0 = 0,25 \times 0,483 = 0,121m$$

Luego, sustituyendo los datos en la ecuación total:

$$H_{TOTAL} = 0,506 + 2 \times 0,121 + 2 \times 0,025 = 0,798m$$

Se tendrá un volumen útil distinto al volumen total, y en dicho volumen útil no se considera el fondo superior. Se calcula de la siguiente manera:

$$V_{ÚTL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDOINFERIOR} + 2V_{PESTAÑA}$$

$$V_{ÚTL} = 0,089 + 0,014 + 2 \times 0,004 = 0,111m^3$$

Como resumen se tendrá la siguiente tabla:

<b>PRECALENTADOR DE MIEL</b>		
<b>ENVOLVENTE</b>	ESPESOR (mm)	5,000
	ALTURA (m)	0,506
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,089
<b>FONDOS</b>	ESPESOR (mm)	5,000
	ALTURA (m)	0,121
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,014
<b>PESTAÑA</b>	ALTURA (m)	0,025
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,004
<b>ALTURA TOTAL<sup>4</sup> (m)</b>		0,798
<b>DIÁMETRO INTERIOR (m)</b>		0,473
<b>DIÁMETRO EXTERIOR (m)</b>		0,483
<b>VOLUMEN ÚTIL (m<sup>3</sup>)</b>		0,111

Tabla 18. Dimensiones del precalentador de miel.

## 5. ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de distintas intensidades en las componentes del recipiente. El tipo de intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

Las cargas en este caso son:

- Presión interna.
- Peso del recipiente y su contenido.
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos.

No se tendrán en cuenta los esfuerzos debidos a los movimientos sísmicos, por la zona en la que se encuentra, y tampoco los debidos a las cargas del viento, por encontrarse en el interior de una nave.

<sup>4</sup> La suma de las distintas partes del depósitos sin incluir los apoyos.



### 5.1 Cálculo de la tensión longitudinal en la envoltura debida a la presión interna.

$$\sigma_{pa} = \frac{P(D+2c)}{4(t-c)} = \frac{3,5 \times (473 + 2 \times 1,5)}{4 \times (5 - 1,5)} = 119,00 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{pa}$ : tensión longitudinal en kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.2 Cálculo de pesos y tensiones debidas a esos pesos.

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión.

#### a) MONTAJE Y PARADA.

Se calcula el peso de la envoltura sin líquido en el interior, es decir, el propio de la envoltura y la tensión debida a ese peso.

- Peso de la envoltura:

$$\begin{aligned} P_{ENVOLVENTE} &= \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H \cdot \rho_{material} \cdot 10^{-6} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (D_0^2 - D^2) \times H_{ENV} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (483^2 - 473^2) \times 506 = 29,82 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\rho_{material} = 7,85 \text{ kg/cm}^3$$

- Tensión debida al peso de la envoltura:

$$\begin{aligned} \sigma_{TENSION} &= \frac{4P_{ENVOLVENTE} \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D+2c)^2)} = \frac{4 \times 29,82 \cdot 10^2}{\pi(483^2 - (473 + 2 \times 1,5)^2)} \\ \sigma_{TENSION} &= 0,57 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### b) OPERACIÓN

En este caso es donde se tiene en cuenta el líquido en el interior de la envoltura, el peso propio de la envoltura y también se tendrán en cuenta los fondos y las tuberías conectadas al precalentador.

- Peso de la envolvente.

$$P_{ENVOLVENTE} = 29,82 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

- Peso del líquido en la envolvente.

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ}$$

siendo

$\rho_{LIQ}$  : la densidad de la miel,  $1400 \text{ kg/m}^3$  (  $25^\circ\text{C}$ ).

$V_{LIQUIDO}$  : es el volumen que ocupa la miel en la envolvente ( $\text{m}^3$ ).

$$V_{LIQUIDO} = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi \times 0,473^2}{4} \times 0,506 = 0,089 \text{ m}^3$$

$$P_{LIQ} = 0,089 \times 1400 = 124,6 \text{ kg}$$

- Peso del líquido en los fondos.

Teniendo en cuenta que los fondos elegidos son tipo elíptico:

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ} = 0,014 \times 1400 = 19,6 \text{ kg}$$

- Peso de los fondos.

$$P_{FONDO} = 46,69 \text{ kg}$$

- Peso de las tuberías.

Se incrementará un 5% el peso del recipiente, si la relación H/D es menor de 10 (como es en este caso). Por tanto:

$$P_{TUBERÍAS} = 0,05 \times P_{ENVOLVENTE} = 0,05 \times 29,82 = 1,49 \text{ kg}$$

- Peso total.

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i=1} P_i = P_{ENV} + P_{1,LIQ} + 2P_{FONDO} + 2P_{2,LIQ} + P_{TUB} = \\ &= 29,82 + 124,6 + 2 \times 19,6 + 2 \times 46,69 + 1,49 = 288,49 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Tensión debida al peso total.

$$\sigma_{wi} = \frac{4W_j 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 288,49 \cdot 10^2}{\pi(483^2 - (473 + 2 \times 1,5)^2)} = 5,47 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. CÁLCULO DEL DISEÑO DEL APOYO DEL DEPÓSITO

Para saber el tipo de soporte y el número necesario de ellos se debe observar la tabla en la que aparecen los distintos tipos en función del diámetro del recipiente; la misma tabla que se utilizó para el depósito de miel.

El diámetro exterior del precalentador de miel es de 483 mm, por lo que según la *Tabla 16*, en el *Anexo II.3.*, se pondrán como soporte 4 patas en forma de L de  $70 \times 70 \times 10 \text{ mm}$ , de altura aproximada de 1 m, del mismo material del que se ha realizado el depósito, es decir, acero inoxidable AISI 304L. Se soldará a una placa cuadrangular de 120 mm de lado y 10 mm de espesor. El conjunto irá anclado al suelo mediante unos pernos de anclaje, los cuales tendrán un diámetro de 20 mm. El diámetro de la situación de los taladros en el recipiente se obtiene de la expresión:

$$D_o - 50 = 483 - 50 = 433 \text{ mm}$$

Para cada taladro se debe hacer un diámetro de 26 mm.

El valor de A, es decir, la distancia que hay desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular, será de 40 mm.

La carga máxima que soportará el precalentador en ésta situación, cargado de líquido, será de 15400 kg y, en éste caso, se comprueba que puede soportar todo el peso del depósito, ya que éste es 289,49 kg, calculado en el apartado anterior.

## 7. CÁLCULOS DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

### 7.1 Tensión admisible a tracción.

La máxima tensión a tracción a la que éste tipo de elementos pueden estar sometidos no podrá superar la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, es decir, 58° C, que se especifica en el apartado UG-23.a del Código

ASME, Sección VIII, División 1, para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 304L) ( $S = 13400 \text{ psi} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$ ) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ( $E = 0,85$ ).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2 Tensión admisible a compresión.

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.3 Tensión admisible a pandeo.

Será el valor menor de los siguientes:

- $\frac{1}{3} \times \text{lim.elástico} = \frac{1}{3} \times 2386,9 = 795,63 \text{ kg/cm}^2$
- $1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(t-c)}{R_0} = 1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(5-1,5)}{241,5} = 1521,74 \text{ kg/cm}^2$

Por tanto, será  $\sigma_{PANDEO} = 795,63 \text{ kg/cm}^2$

### 7.4 Tensión admisible a prueba.

Será el valor menor de los siguientes:

- $0,9 \times \text{lim.elástico} = 0,9 \times 2386,9 = 2148,21 \text{ kg/cm}^2$
- $0,495 \times \text{CARGA rotura} = 0,495 \times 5691,8 = 2817,44 \text{ kg/cm}^2$

Por tanto, la máxima tensión será  $\sigma = 2148,21 \text{ kg/cm}^2$

## ANEXO II.5 DISEÑO MECÁNICO DEL DEPÓSITO DE AGUA

Las dimensiones elegidas para diseñar el depósito de agua son:

$$V = 1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 947 \text{ mm}$$

$$H = 1421 \text{ mm}$$

$$T_{\text{máx. operación}} = 40^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 60^\circ \text{ C} = 140^\circ \text{ F}$$

$$P_{\text{operación}} = 1 \text{ atm.}$$

$$P_{\text{diseño}} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{\text{(acero 304L, placa SA-240, T=104° F)}} = 13400 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (psi)} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$$

c: espesor de corrosión, 1,5 mm.

E: eficiencia de la soldadura, 0,85.

### 1. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LA ENVOLVENTE

Para calcular el espesor mínimo de la envolvente se hace según dos apartados diferentes.

#### 1.1 Por especificación.

A su vez se estiman dos valores diferentes:

$$\bullet \quad t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(\text{mm}) = \frac{947}{1000} + 2,54 + 1,5 = 4,99 \text{ mm}$$

Se supone  $D_0$  (diámetro exterior) como  $D$  (diámetro interior) ya que no se dispone de ningún dato aún de espesor para poder calcularlo.

$$\bullet \quad t_{\text{acero inoxidable}} = 3 \text{ mm}$$

### 1.2 Según ASME Sección III División 1:

- ❖ Por tensión longitudinal:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4P} + c(mm)$$

siendo,

P: presión de diseño (kg/cm<sup>2</sup>)

R: radio interior (mm)

$$t = \frac{3,5 \times 947 / 2}{942,1 \times 0,85 + 0,4 \times 3,5} + 1,5 = 3,57 mm$$

- ❖ Por tensión circunferencial:

$$t = \frac{P \cdot R_i}{S \cdot E - 0,6P} + c(mm) = \frac{3,5 \times 473,5}{942,1 \times 0,85 - 0,6 \times 3,5} + 1,5 = 3,57 mm$$

Después de éstos cálculos se toma como espesor mínimo para la envolvente el máximo valor de los cuatro calculados anteriormente, que es 4,99 mm (regido por la expresión de especificación) y al normalizarlo se tomará un espesor de 5 mm.

## 2. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LOS FONDOS

La presión del depósito se puede considerar media o baja y para éste rango de presiones se aconsejan 3 tipos de fondos:

- d) Fondos elípticos 2:1.
- e) Fondos Policéntricos tipo Korboggen.
- f) Fondos Policéntricos tipo Koppler.

Se procede como el cálculo para el depósito de miel del *Anexo II.3*. Se muestran las ecuaciones para determinar el espesor de los fondos según el “*Manual de Recipientes a Presión*” que se utilizaron en dicho Anexo.

c) Fondos elípticos 2:1

$$t = \frac{P \cdot D}{2SE - 0,2P} + c$$

d) Fondos policéntricos

$$\triangleright \text{ Si } L/r < 16 \frac{2}{3} \rightarrow t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2SE - 0,2P} + c \quad [1]$$

$$\triangleright \text{ Si } L/r = 16 \frac{2}{3} \rightarrow t = \frac{0,885 \cdot P \cdot L}{SE - 0,1P} + c \quad [2]$$

donde:

$$\text{Factor M es } \frac{3 + \sqrt{L/r}}{4}$$

Y las ecuaciones para determinar las dimensiones de los fondos tipo Korboggen y tipo Koppler son:

$$\begin{aligned} 3) \text{ tipo Korboggen} \quad L &= 0,8 \cdot D_0 \\ r &= 0,154 \cdot D_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ tipo Koppler} \quad L &= D_0 \\ r &= D_0 / 10 \end{aligned}$$

siendo  $D_0 = D + 2t$

El resultado que se obtiene para estos dos tipos de fondos es:

$$3) \text{ tipo Korboggen} \quad \begin{aligned} L &= 765,6 \text{ mm} \\ r &= 147,3 \text{ mm} \end{aligned} \rightarrow L/r = 5,19 < 16 \frac{2}{3}$$

$$4) \text{ tipo Koppler} \quad \begin{aligned} L &= 957 \text{ mm} \\ r &= 95,7 \text{ mm} \end{aligned} \rightarrow L/r = 10 < 16 \frac{2}{3}$$

Luego, para ambos casos se utilizará la ecuación [1] y los resultados para los 3 tipos de fondos son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de fondo	M	t (mm)
Elíptico 2:1	-	3,57
Korboggen	1,32	3,71
Koppler	1,54	4,72

Tabla 39. Factor M y espesor, t, para los distintos tipos de fondos.

Se tomará el fondo que requiera menor espesor para que sea más económico, por tanto, se toma el fondo elíptico 2:1 de espesor 3,57 mm, que al normalizarlo será de 4 mm.

Por tanto, el recipiente tendrá un espesor de 5 mm en todos los componentes que lo forman, ya que es el espesor mínimo para la envolvente.

### 3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PESTAÑA

La pestaña es la parte cilíndrica del fondo donde se realiza la soldadura entre el cabezal y la envolvente. Se toma esta pestaña para evitar las soldaduras en la línea de tangencia entre el cabezal y la envolvente, porque es donde se acumulan todas las tensiones.

El valor de h será el mayor resultado de los siguientes casos:

$$h = 25\text{mm}$$

$$h = 3 \cdot t_{\text{Fondo}}$$

$$h = 0,3 \cdot \sqrt{D_0 \cdot t_{\text{Fondo}}}$$

El mayor valor que se obtiene son 25 mm.

### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL DEPÓSITO DE AGUA

Se procede a calcular las dimensiones reales teniendo en cuenta los fondos.

El volumen total del depósito será:



$$V_{TOTAL} = V_{ENVOLVENTE} + 2V_{FONDOS} + 2V_{PESTAÑA}$$

El volumen total es conocido, es  $1 \text{ m}^3$ , y a partir de éste dato se calcularán los demás.

$$V_{FONDO} = 0,13 \cdot D^3 = 0,13 \times 0,947^3 = 0,110 \text{ m}^3$$

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi \times 0,947^2}{4} \times 0,025 = 0,018 \text{ m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen total:

$$1 \text{ m}^3 = V_{ENVOLVENTE} + 2 \times 0,110 + 2 \times 0,018 \Rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 0,744 \text{ m}^3$$

Al igual que con el volumen se puede hacer con la altura:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2H_{FONDOS} + 2h$$

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi D^2}{4} H \Rightarrow H_{ENVOLVENTE} = \frac{4V_{ENVOLVENTE}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0,744}{\pi \times 0,947^2} = 1,056 \text{ m}$$

$$D_0 = D + 2t = 947 + 2 \times 5 = 957 \text{ mm}$$

$$H_{FONDO} = 0,25D_0 = 0,25 \times 0,957 = 0,239 \text{ m}$$

Luego, sustituyendo los datos en la ecuación total:

$$H_{TOTAL} = 1,056 + 2 \times 0,239 + 2 \times 0,025 = 1,584 \text{ m}$$

Se tendrá un volumen útil distinto al volumen total, y en dicho volumen útil no se considera el fondo superior. Se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\text{ÚTL}} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDOINFERIOR} + 2V_{PESTAÑA}$$

$$V_{\text{ÚTL}} = 0,744 + 0,110 + 2 \times 0,018 = 0,890 \text{ m}^3$$

Como resumen se tendrá la siguiente tabla:

<b>DEPÓSITO DE AGUA</b>		
<b>ENVOLVENTE</b>	ESPESOR (mm)	5,000
	ALTURA (m)	1,056
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,744
<b>FONDOS</b>	ESPESOR (mm)	5,000
	ALTURA (m)	0,239
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,110
<b>PESTAÑA</b>	ALTURA (m)	0,025
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,018
<b>ALTURA TOTAL<sup>5</sup> (m)</b>		1,584
<b>DIÁMETRO INTERIOR (m)</b>		0,947
<b>DIÁMETRO EXTERIOR (m)</b>		0,957
<b>VOLUMEN ÚTIL (m<sup>3</sup>)</b>		0,890

Tabla 40. Dimensiones del depósito de agua.

## 5. ESFUERZO EN RECIPIENTES A PRESIÓN

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de distintas intensidades en las componentes del recipiente. El tipo de intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

Las cargas en este caso son:

- Presión interna.
- Peso del recipiente y su contenido.
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar, tuberías, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos.

No se tendrán en cuenta los esfuerzos debidos a los movimientos sísmicos, por la zona en la que se encuentra, y tampoco los debidos a las cargas del viento, por encontrarse en el interior de una nave.

<sup>5</sup> La suma de las distintas partes del depósitos sin incluir los apoyos.

### 5.1. Cálculo de la tensión longitudinal en la envolvente debida a la presión interna.

$$\sigma_{Pa} = \frac{P(D+2c)}{4(t-c)} = \frac{3,5 \times (947 + 2 \times 1,5)}{4 \times (5 - 1,5)} = 237,5 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{Pa}$  : tensión longitudinal en kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.2. Cálculo de pesos y tensiones debidas a esos pesos.

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión.

#### a) MONTAJE Y PARADA

Se calcula el peso de la envolvente sin líquido en el interior, es decir, el propio de la envolvente y la tensión debida a ese peso.

- Peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} P_{ENVOLVENTE} &= \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H \cdot \rho_{material} \cdot 10^{-6} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (D_0^2 - D^2) \times H_{ENV} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (957^2 - 947^2) \times 1056 = 123,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\rho_{material} = 7,85 \text{ kg/cm}^3$$

- Tensión debida al peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} \sigma_{TENSION} &= \frac{4P_{ENVOLVENTE} \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D+2c)^2)} = \frac{4 \times 123,95 \cdot 10^2}{\pi(957^2 - (947 + 2 \times 1,5)^2)} \\ \sigma_{TENSION} &= 1,18 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### b) OPERACIÓN

En este caso es donde se tiene en cuenta el líquido en el interior de la envolvente, el peso propio de la envolvente y también se tendrán en cuenta los fondos y las tuberías conectadas al fermentador.

- Peso de la envolvente.

$$P_{ENVOLVENTE} = 123,95 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

- Peso del líquido en la envolvente.

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ}$$

siendo

$\rho_{LIQ}$ : la densidad del agua, 997 kg/m<sup>3</sup> (25°C).

$V_{LIQUIDO}$ : es el volumen que ocupa el agua en la envolvente, en m<sup>3</sup>.

$$V_{LIQUIDO} = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi \times 0,947^2}{4} \times 1,056 = 0,744 \text{ m}^3$$

$$P_{LIQ} = 0,744 \times 997 = 741,77 \text{ kg}$$

- Peso del líquido en los fondos.

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ} = 0,014 \times 1400 = 19,6 \text{ kg}$$

- Peso de los fondos.

$$P_{FONDO} = 42,71 \text{ kg}$$

- Peso de las tuberías.

Se incrementará un 5% el peso del recipiente, si la relación H/D es menor de 10 (como es en este caso). Por tanto:

$$P_{TUBERÍAS} = 0,05 \times P_{ENVOLVENTE} = 0,05 \times 123,95 = 6,2 \text{ kg}$$

- Peso total.

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i=1} P_i = P_{ENV} + P_{1.LIQ} + 2P_{FONDO} + 2P_{2.LIQ} + P_{TUB} = \\ &= 123,95 + 741,77 + 2 \times 19,6 + 2 \times 42,71 + 6,2 = 996,54 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Tensión debida al peso total.

$$\sigma_{w_i} = \frac{4W_j 10^2}{\pi(D_o^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 996,54 \cdot 10^2}{\pi(957^2 - (947 + 2 \times 1,5)^2)} = 9,51 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. CÁLCULO DEL DISEÑO DEL APOYO DEL DEPÓSITO

Para saber el tipo de soporte y el número necesario de ellos se debe observar la tabla en la que aparecen los distintos tipos en función del diámetro del recipiente, la misma tabla que se utilizó para el depósito de miel, en el *Anexo II.3*.

El diámetro exterior del depósito de agua es de 957 mm, por lo que según la tabla se pondrán como soporte 4 patas en forma de L de  $70 \times 70 \times 10 \text{ mm}$ , de altura aproximada de 0,70 m, del mismo material del que se ha realizado el depósito, es decir, acero inoxidable AISI 304L. Se soldará a una placa cuadrangular de 120 mm de lado y 10 mm de espesor. El conjunto irá anclado al suelo mediante unos pernos de anclaje, los cuales tendrán un diámetro de 20 mm. El diámetro de la situación de los taladros en el recipiente se obtiene de la expresión:

$$D_o - 50 = 957 - 50 = 907 \text{ mm}$$

Para cada taladro se debe hacer un diámetro de 26 mm.

El valor de A, es decir, la distancia que hay desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular, será de 40 mm.

La carga máxima que soportará el depósito en ésta situación, cargado de líquido, será de 15400 kg y, en éste caso, se comprueba que puede soportar todo el peso del depósito, ya que éste es 996,54 kg, calculado en el apartado anterior.

## 7. CÁLCULOS DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

### 7.1.- Tensión admisible a tracción.

La máxima tensión a tracción a la que éste tipo de elementos pueden estar sometidos no podrá superar la máxima tensión admisible a la temperatura de

diseño, es decir, 60° C, que se especifica en el apartado UG-23.a del Código ASME, Sección VIII, División 1, para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 304L) ( $S = 13400 \text{ psi} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$ ) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ( $E = 0,85$ ).

$$\sigma_{TRACCIÓN} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2.- Tensión admisible a compresión.

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.3.- Tensión admisible a pandeo.

Será el valor menor de los siguientes:

- $\frac{1}{3} \times \text{lim.elástico} = \frac{1}{3} \times 2386,9 = 795,63 \text{ kg/cm}^2$
- $1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(t-c)}{R_0} = 1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(5-1,5)}{478,5} = 768,03 \text{ kg/cm}^2$

Por tanto, será  $\sigma_{PANDEO} = 795,63 \text{ kg/cm}^2$

### 7.4.- Tensión admisible a prueba.

Será, al igual que antes, el valor menor de los siguientes:

- $0,9 \times \text{lim.elástico} = 0,9 \times 2386,9 = 2148,21 \text{ kg/cm}^2$
- $0,495 \times \text{CARGA rotura} = 0,495 \times 5691,8 = 2817,44 \text{ kg/cm}^2$

Por tanto, la máxima tensión será  $\sigma = 2148,21 \text{ kg/cm}^2$

## **ANEXO II.6 DISEÑO MECÁNICO DEL FERMENTADOR ALCOHÓLICO**

Las dimensiones y variables para el diseño del fermentador son las siguientes:

$$V = 1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 947 \text{ mm}$$

$$H = 1421 \text{ mm}$$

$$T_{\text{max.operación}} = 28^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 48^\circ \text{ C} = 123,8^\circ \text{ F}$$

$$P_{\text{max.operación}} = 1 \text{ atm}$$

$$P_{\text{diseño}} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{\text{(acero 316L, placa SA-240, T=123,8° F)}} = 13300 \text{ lb/pulg}^2 = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

### **1. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LA ENVOLVENTE**

Para calcular el espesor mínimo de la envolvente se hace según dos apartados diferentes.

#### **1.2 Por especificación**

A su vez, se estiman dos valores diferentes:

$$\bullet \quad t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(\text{mm}) = \frac{947}{1000} + 2,54 + 1,5 = 4,99 \text{ mm}$$

Se supone  $D_0$  (diámetro exterior) como  $D$  ya que no se dispone de ningún dato aún de espesor para poder calcularlo.

$$\bullet \quad t_{\text{acero inoxidable}} = 3 \text{ mm}$$

### 1.3 Según ASME Sección III División 1:

- ❖ Por tensión longitudinal:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4P} + c(mm)$$

siendo,

P = presión de diseño (kg/cm<sup>2</sup>)

R = radio interior (mm)

$$t = \frac{3,5 \times 947 / 2}{935,1 \times 0,85 + 0,4 \times 3,5} + 1,5 = 3,58mm$$

- ❖ Por tensión circunferencial:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6P} + c(mm) = \frac{3,5 \times 473,5}{935,1 \times 0,85 - 0,6 \times 3,5} + 1,5 = 3,59mm$$

Después de éstos cálculos se toma como espesor mínimo para la envolvente el máximo valor de los cuatro calculados anteriormente, que es 4,99 mm (regido por la expresión de especificación) y al normalizarlo se tomará un espesor de 5 mm.

## 2. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LOS FONDOS

Al igual que para el cálculo de los fondos de los recipientes anteriormente calculados, se consideran los 3 tipos de fondos: elíptico, Korboggen y Koppler, y se elegirá el que requiera menor espesor y cumpla los mismos requisitos.

Los resultados para los 3 tipos de fondos son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de fondo	L (mm)	r (mm)	M	t (mm)
Elíptico 2:1	-	-	-	3,59
Korboggen	765,6	147,4	1,32	3,72
Koppler	957	95,7	1,54	4,75

Tabla 25. Espesores calculados para los distintos tipos de fondos.



Se tomará el fondo que requiera menor espesor para que sea más económico, por tanto, se toma el fondo elíptico 2:1 de espesor 3,59 mm, que al normalizarlo sería de 4 mm.

Se construirá todo el recipiente con un espesor de 5 mm, ya que es el mínimo necesario para la envolvente.

### 3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PESTAÑA (h)

La pestaña es la parte cilíndrica del fondo donde se realiza la soldadura entre el cabezal y la envolvente. Se toma esta pestaña para evitar las soldaduras en la línea de tangencia entre el cabezal y la envolvente, porque es donde se acumulan todas las tensiones.

El valor de h será el mayor resultado de los siguientes casos:

$$h = 25\text{mm}$$

$$h = 3 \cdot t_{\text{Fondo}}$$

$$h = 0,3 \cdot \sqrt{D_0 \cdot t_{\text{Fondo}}}$$

El mayor valor que se obtiene son 25 mm, y es el que se toma para la altura de la pestaña.

### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL FERMENTADOR

Se procede a calcular las dimensiones reales teniendo en cuenta los fondos.

El volumen total del fermentador será:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{ENVOLVENTE}} + 2V_{\text{FONDOS}} + 2V_{\text{PESTAÑA}}$$

El volumen total es conocido, es  $1 \text{ m}^3$ , y a partir de éste dato se calcularán los demás.

$$V_{\text{FONDO}} = 0,13 \cdot D^3 = 0,13 \times 0,947^3 = 0,110\text{m}^3$$

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi \times 0,947^2}{4} \times 0,025 = 0,018m^3$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen total:

$$1m^3 = V_{ENVOLVENTE} + 2 \times 0,110 + 2 \times 0,018 \Rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 0,744m^3$$

Al igual que con el volumen se puede hacer con la altura:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2H_{FONDOS} + 2h$$

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi D^2}{4} H \Rightarrow H_{ENVOLVENTE} = \frac{4V_{ENVOLVENTE}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0,744}{\pi \times 0,947^2} = 1,056m$$

$$H_{FONDO} = 0,25 \cdot D = 0,25 \times 0,957 = 0,237m$$

Luego, sustituyendo los datos en la ecuación total:

$$H_{TOTAL} = 1,056 + 2 \times 0,237 + 2 \times 0,025 = 1,580m$$

Se tendrá un volumen útil distinto al volumen total, y en dicho volumen útil no se considera el fondo superior. Se calcula de la siguiente manera:

$$V_{UTIL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDOINFERIOR} + 2V_{PESTAÑA}$$

$$V_{UTIL} = 0,744 + 0,110 + 2 \times 0,018 = 0,890m^3$$

Como resumen de los datos calculados se tiene la siguiente tabla:

FERMENTADOR ALCOHÓLICO		
ENVOLVENTE	ESPEJOR (mm)	5,000
	ALTURA (m)	1,056
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,744
FONDOS	ESPEJOR (mm)	5,000
	ALTURA (m)	0,239
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,110
PESTAÑA	ALTURA (m)	0,025
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,018
ALTURA TOTAL <sup>6</sup> (m)		1,580
DIÁMETRO INTERIOR (m)		0,947
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		0,957
VOLUMEN ÚTIL (m <sup>3</sup> )		0,890

Tabla 26. Dimensiones del fermentador alcohólico.

## 5. ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

**5.1 Cálculo de la tensión longitudinal en la envolvente debida a la presión interna.**

$$\sigma_{pa} = \frac{P(D + 2c)}{4(t - c)} = \frac{3,5 \times (947 + 2 \times 1,5)}{4 \times (5 - 1,5)} = 237,5 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{pa}$ : tensión longitudinal en kg/cm<sup>2</sup>.

**5.2 Cálculo de pesos y tensiones debidas a esos pesos.**

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión.

<sup>6</sup> La suma de las distintas partes del depósitos sin incluir los apoyos.

## a) MONTAJE Y PARADA

Se calcula el peso de la envolvente sin líquido en el interior, es decir, el propio de la envolvente y la tensión debida a ese peso.

- Peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} P_{ENVOLVENTE} &= \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H \cdot \rho_{material} \cdot 10^{-6} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (D_0^2 - D^2) \times H_{ENV} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (957^2 - 947^2) \times 1056 = 123,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\rho_{material} = 7,85 \text{ kg} / \text{cm}^3$$

- Tensión debida al peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} \sigma_{TENSION} &= \frac{4P_{ENVOLVENTE} \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 123,95 \cdot 10^2}{\pi(957^2 - (947 + 2 \times 1,5)^2)} \\ \sigma_{TENSION} &= 1,18 \text{ kg} / \text{cm}^2 \end{aligned}$$

## b) OPERACIÓN

En este caso es donde se tiene en cuenta el líquido en el interior de la envolvente, el peso propio de la envolvente y también se tendrán en cuenta los fondos y las tuberías conectadas al fermentador.

- Peso de la envolvente.

$$P_{ENVOLVENTE} = 123,95 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

- Peso del líquido en la envolvente.

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ}$$

siendo

$\rho_{LIQ}$ : la densidad del agua, 997 kg/m<sup>3</sup> (25°C).

$V_{LIQUIDO}$ : es el volumen que ocupa el agua en la envolvente, en m<sup>3</sup>.

$$V_{LIQUIDO} = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi \times 0,947^2}{4} \times 1,053 = 0,742 m^3$$

$$P_{LIQ} = 0,742 \times 997 = 739,77 kg$$

- Peso del líquido en los fondos.

Teniendo en cuenta que los fondos elegidos son tipo elíptico:

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ} = 0,110 \times 997 = 109,67 kg$$

- Peso de los fondos.

$$P_{FONDO} = 42,71 kg$$

- Peso de las tuberías.

Se incrementará un 5% el peso del recipiente, si la relación H/D es menor de 10 (como es en este caso). Por tanto:

$$P_{TUBERIAS} = 0,05 \times P_{ENVOLVENTE} = 0,05 \times 123,95 = 6,20 kg$$

- Peso total.

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i=1} P_i = P_{ENV} + P_{1,LIQ} + 2P_{FONDO} + 2P_{2,LIQ} + P_{TUB} = \\ &= 123,95 + 741,77 + 2 \times 109,67 + 2 \times 42,71 + 6,2 = 1176,68 kg \end{aligned}$$

- Tensión debida al peso total.

$$\sigma_{w_i} = \frac{4W_j 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 1176,68 \cdot 10^2}{\pi(957^2 - (947 + 2 \times 1,5)^2)} = 11,22 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. CÁLCULO DEL DISEÑO DEL APOYO DEL DEPÓSITO

Para saber el tipo de soporte y el número necesario de ellos se debe observar la tabla en la que aparecen los distintos tipos en función del diámetro del recipiente, la misma tabla que se utilizó para el cálculo de los recipientes anteriores.

El diámetro exterior del fermentador es de 957 mm, por lo que según la tabla se pondrán como soporte 4 patas en forma de L de  $70 \times 70 \times 10 \text{ mm}$ , de altura aproximada de 1 m, del mismo material del que se ha realizado el fermentador, es decir, acero inoxidable AISI 316L. Se soldará a una placa cuadrangular de 120 mm de lado y 10 mm de espesor. El conjunto irá anclado al suelo mediante unos pernos de anclaje, los cuales tendrán un diámetro de 20 mm. El diámetro de la situación de los taladros en el recipiente se obtiene de la expresión:

$$D_o - 50 = 957 - 50 = 907 \text{ mm}$$

Para cada taladro se debe hacer un diámetro de 26 mm.

El valor de A, es decir, la distancia que hay desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular, será de 40 mm.

La carga máxima que soportará el depósito en ésta situación, cargado de líquido, será de 15400 kg y, en éste caso, se comprueba que puede soportar todo el peso del depósito, ya que éste es 1176,68 kg, calculado en el apartado anterior.

## 7. Cálculos de las tensiones admisibles.

### 7.1.- Tensión admisible a tracción.

La máxima tensión a tracción a la que éste tipo de elementos pueden estar sometidos no podrá superar la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, es decir, 48° C, que se especifica en el apartado UG-23.a del Código ASME, Sección VIII, División 1, para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) ( $S = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$ ) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ( $E = 0,85$ ).

$$\sigma_{\text{TRACCIÓN}} = S \cdot E = 935,1 \times 0,85 = 794,84 \text{ kg/cm}^2$$

**7.2.- Tensión admisible a compresión.**

Tensión admisible para  $E = 1$ .

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S \cdot E = 935,1 \times 1 = 935,1 \text{ kg / cm}^2$$

**7.3.- Tensión admisible a pandeo.**

Será el valor menor de los siguientes:

- $\frac{1}{3} \times \text{lím.elástico} = \frac{1}{3} \times 2386,9 = 795,63 \text{ kg / cm}^2$
- $1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(t-c)}{R_0} = 1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(5-1,5)}{478,5} = 768,03 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, será  $\sigma_{PANDEO} = 768,03 \text{ kg / cm}^2$

**7.4.- Tensión admisible a prueba.**

Será el valor menor de los siguientes:

- $0,9 \times \text{lím.elástico} = 0,9 \times 2386,9 = 2148,21 \text{ kg / cm}^2$
- $0,495 \times \text{CARGA rotura} = 0,495 \times 5691,8 = 2817,44 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, la máxima tensión será  $\sigma = 2148,21 \text{ kg / cm}^2$

## ANEXO II.7 DISEÑO MECÁNICO DEL DECANTADOR

Las dimensiones elegidas para diseñar el decantador de hidromiel son las siguientes:

$$V = 1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,25$$

$$D = 1006 \text{ mm}$$

$$H = 1258 \text{ mm}$$

$$T_{\text{máx.operación}} = 40^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 60^\circ \text{ C} = 140^\circ \text{ F}$$

$$P_{\text{operación}} = 1 \text{ atm.}$$

$$P_{\text{diseño}} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{(\text{acero 304L, placa SA-240, } T=140^\circ \text{ F})} = 13400 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (psi)} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = \text{espesor de corrosión, } 1,5 \text{ mm}$$

$$E = \text{eficiencia de soldadura, } 0,85.$$

### 1. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LA ENVOLVENTE

Para calcular el espesor mínimo de la envolvente se hace según dos apartados diferentes.

#### 1.1 Por especificación.

A su vez se estiman dos valores diferentes:

$$\bullet \quad t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(\text{mm}) = \frac{1006}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,05 \text{ mm}$$

Se supone  $D_0$  (diámetro exterior) como  $D$  ya que no se dispone de ningún dato aún de espesor para poder calcularlo.

$$\bullet \quad t_{\text{acero inoxidable}} = 3 \text{ mm}$$



### 1.2 Según ASME Sección III División 1:

- ❖ Por tensión longitudinal:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4P} + c(mm)$$

siendo,

P = presión de diseño (kg/cm<sup>2</sup>)

R = radio interior (mm)

$$t = \frac{3,5 \times 1006 / 2}{942,1 \times 0,85 + 0,4 \times 3,5} + 1,5 = 3,69mm$$

- ❖ Por tensión circunferencial:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6P} + c(mm) = \frac{3,5 \times 503}{942,1 \times 0,85 - 0,6 \times 3,5} + 1,5 = 3,70mm$$

Después de éstos cálculos se toma como espesor mínimo para la envolvente el máximo valor de los cuatro calculados anteriormente, que es 4,99 mm (regido por la expresión de especificación) y al normalizarlo se tomará un espesor de 5 mm.

## 2. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LOS FONDOS

Al igual que para el cálculo de los fondos de los recipientes anteriormente calculados, se consideran los 3 tipos de fondos: elíptico, Korboggen y Koppler, y se elegirá el que requiera menor espesor y cumpla los mismos requisitos.

Los resultados para los 3 tipos de fondos son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de fondo	L (mm)	r (mm)	M	t (mm)
Elíptico 2:1	-	-	-	3,59
Korboggen	812,8	156,46	1,32	3,84
Koppler	1016	101,6	1,54	4,92

Tabla 23. Espesores calculados para los distintos tipos de fondos.

Se tomará el fondo que requiera menor espesor para que sea más económico, por tanto, se toma el fondo elíptico 2:1 de espesor 3,59 mm, que al normalizarlo sería de 4 mm.

Sin embargo, el fondo inferior del decantador será de tipo cónico para la separación de las lías decantadas y el líquido clarificado. Las ecuaciones para este fondo son las siguientes:

- Dimensiones:

$$\alpha = 60^\circ$$

$$D_1 = 1006 \text{ mm}$$

$$H = \frac{D/2}{\operatorname{tg}\alpha} \Rightarrow H = 290,4 \text{ mm}$$

- Espesor:

- Sometido a tensión longitudinal

$$t = \frac{P \cdot D}{4 \cos \alpha \cdot (SE + 0,4P)} \Rightarrow t = 2,19 + c = 3,69 \text{ mm}$$

- Sometido a tensión circunferencial

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cos \alpha \cdot (SE - 0,6 \cdot P)} \Rightarrow t = 4,41 + c = 5,91 \text{ mm}$$

Luego, el fondo cónico tendrá un espesor de 5,91 mm, que al normalizar se obtiene un valor de 6 mm.

Por tanto, el recipiente se construirá con un espesor de 6 mm, ya que es el mínimo necesario para el fondo cónico.

### 3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PESTAÑA (h)

La pestaña es la parte cilíndrica del fondo donde se realiza la soldadura entre el cabezal y la envolvente. Se toma esta pestaña para evitar las soldaduras en la línea de

tangencia entre el cabezal y la envolvente, porque es donde se acumulan todas las tensiones.

El valor de  $h$  será el mayor resultado de los siguientes casos:

$$h = 25\text{mm}$$

$$h = 3 \cdot t_{\text{Fondo}}$$

$$h = 0,3 \cdot \sqrt{D_0 \cdot t_{\text{Fondo}}}$$

El mayor valor que se obtiene son 25 mm.

#### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL DÉPOSITO DE MIEL

Se procede a calcular las dimensiones reales teniendo en cuenta los fondos.

El volumen total del depósito será:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{ENVOLVENTE}} + 2V_{\text{FONDOS}} + 2V_{\text{PESTAÑA}}$$

El volumen total es conocido, es  $6 \text{ m}^3$ , y a partir de éste dato se calcularán los demás.

$$V_{\text{FONDOSUPERIOR}} = 0,13 \cdot D^3 = 0,13 \times 1,006^3 = 0,132\text{m}^3$$

$$V_{\text{FONDOCÓNICO}} = \frac{A_{\text{base}} \cdot H}{3} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot H}{3} = \frac{\pi \times 0,503^2 \times 0,2904}{3} = 0,077\text{m}^3$$

$$V_{\text{PESTAÑA}} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi \times 1,006^2}{4} \times 0,025 = 0,020\text{m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen total:

$$1\text{m}^3 = V_{\text{ENVOLVENTE}} + 0,132 + 0,077 + 2 \times 0,020 \Rightarrow V_{\text{ENVOLVENTE}} = 0,751\text{m}^3$$

Al igual que con el volumen se puede hacer con la altura:

$$H_{\text{TOTAL}} = H_{\text{ENVOLVENTE}} + H_{\text{FONDOCÓNICO}} + H_{\text{FONDOSUPERIOR}} + 2h$$

$$V_{\text{ENVOLVENTE}} = \frac{\pi D^2}{4} H \Rightarrow H_{\text{ENVOLVENTE}} = \frac{4V_{\text{ENVOLVENTE}}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0,751}{\pi \times 1,006^2} = 0,945\text{m}$$

$$H_{FONDOSUPERIOR} = 0,25 \cdot D = 0,25 \times 1,006 = 0,252m$$

Luego, sustituyendo los datos en la ecuación total:

$$H_{TOTAL} = 0,945 + 0,252 + 0,2904 + 2 \times 0,025 = 1,537m$$

Se tendrá un volumen útil distinto al volumen total, y en dicho volumen útil no se considera el fondo superior. Se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\acute{U}TIL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDOINFERIOR} + 2V_{PESTA\tilde{N}A}$$

$$V_{\acute{U}TIL} = 0,751 + 0,077 + 2 \times 0,020 = 0,868m^3$$

Como resumen se tendrá la siguiente tabla:

<b>DECANTADOR</b>		
<b>ENVOLVENTE</b>	ESPESOR (mm)	6,000
	ALTURA (m)	0,945
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,751
<b>FONDO Superior</b>	ESPESOR (mm)	6,000
	ALTURA (m)	0,252
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,132
<b>FONDO Inferior (Cónico)</b>	ÁNGULO	60°
	ESPESOR (mm)	6,000
	ALTURA (m)	0,290
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,290
<b>PESTAÑA</b>	ALTURA (m)	0,025
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,020
<b>ALTURA TOTAL<sup>7</sup> (m)</b>		1,537
<b>DIÁMETRO INTERIOR (m)</b>		1,006
<b>DIÁMETRO EXTERIOR (m)</b>		1,018
<b>VOLUMEN ÚTIL (m<sup>3</sup>)</b>		0,868

Tabla 74. Dimensiones del decantador.

<sup>7</sup> La suma de las distintas partes del depósitos sin incluir los apoyos.

## 5. ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

### 5.1 Cálculo de la tensión longitudinal en la envolvente debida a la presión interna.

$$\sigma_{Pa} = \frac{P(D+2c)}{4(t-c)} = \frac{3,5 \times (1006 + 2 \times 1,5)}{4 \times (6 - 1,5)} = 196,19 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{Pa}$  : tensión longitudinal en kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.2 Cálculo de pesos y tensiones debidas a esos pesos.

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión.

#### a) MONTAJE Y PARADA

Se calcula el peso de la envolvente sin líquido en el interior, es decir, el propio de la envolvente y la tensión debida a ese peso.

- Peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} P_{ENVOLVENTE} &= \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H \cdot \rho_{material} \cdot 10^{-6} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (D_0^2 - D^2) \times H_{ENV} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (1018^2 - 1006^2) \times 1537 = 230,14 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\rho_{material} = 7,85 \text{ kg/cm}^3$$

- Tensión debida al peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} \sigma_{TENSION} &= \frac{4P_{ENVOLVENTE} \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D+2c)^2)} = \frac{4 \times 230,14 \cdot 10^2}{\pi(957^2 - (947 + 2 \times 1,5)^2)} \\ \sigma_{TENSION} &= 1,61 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## b) OPERACIÓN

En este caso es donde se tiene en cuenta el líquido en el interior de la envolvente, el peso propio de la envolvente y también se tendrán en cuenta los fondos y las tuberías conectadas al fermentador.

- Peso de la envolvente.

$$P_{ENVOLVENTE} = 230,14 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

- Peso del líquido en la envolvente.

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ}$$

siendo

$\rho_{LIQ}$  : la densidad de la hidromiel, 990,0 kg/m<sup>3</sup> ( 25°C).

$V_{LIQUIDO}$  : el volumen que ocupa la hidromiel en la envolvente (m<sup>3</sup>).

$$V_{LIQUIDO} = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi \times 1,006^2}{4} \times 0,945 = 0,751 \text{ m}^3$$

$$P_{LIQ} = 0,751 \times 990,0 = 743,62 \text{ kg}$$

- Peso del líquido en los fondos.

Teniendo en cuenta que los fondos elegidos son tipo elíptico y cónico, se calculará por separado el peso del líquido en cada uno:

- En el fondo elíptico:

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ} = 0,132 \times 990,0 = 130,68 \text{ kg}$$

- En el fondo cónico:

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ} = 0,077 \times 990,0 = 76,23 \text{ kg}$$

- Peso de los fondos.

$$P_{FONDO} = 57,74kg$$

- Peso de las tuberías.

Se incrementará un 5% el peso del recipiente, si la relación H/D es menor de 10 (como es en este caso. Por tanto:

$$P_{TUBERÍAS} = 0,05 \times P_{ENVOLVENTE} = 0,05 \times 230,14 = 11,51kg$$

- Peso total.

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i=1} P_i = P_{ENV} + P_{1.LIQ} + 2P_{FONDO} + 2P_{2.LIQ} + P_{TUB} = \\ &= 230,14 + 743,62 + 130,68 + 76,23 + 57,74 + 23,45 + 11,51 = 1273,37kg \end{aligned}$$

- Tensión debida al peso total.

$$\sigma_{wi} = \frac{4W_j \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 1273,37 \cdot 10^2}{\pi(1018^2 - (1006 + 2 \times 1,5)^2)} = 8,89 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. CÁLCULO DEL DISEÑO DEL APOYO DEL DEPÓSITO

Para saber el tipo de soporte y el número necesario de ellos se debe observar la tabla en la que aparecen los distintos tipos en función del diámetro del recipiente, la misma tabla que se utilizó para el cálculo de los recipientes anteriores.

El diámetro exterior del fermentador es de 957 mm, por lo que según la tabla se pondrán como soporte 4 patas en forma de L de  $70 \times 70 \times 10mm$ , de altura aproximada de 1 m, del mismo material del que se ha realizado el fermentador, es decir, acero inoxidable AISI 304L. Se soldará a una placa cuadrangular de 120 mm de lado y 10 mm de espesor. El conjunto irá anclado al suelo mediante unos pernos de anclaje, los cuales

tendrán un diámetro de 20 mm. El diámetro de la situación de los taladros en el recipiente se obtiene de la expresión:

$$D_o - 50 = 957 - 50 = 907 \text{ mm}$$

Para cada taladro se debe hacer un diámetro de 26 mm.

El valor de A, es decir, la distancia que hay desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular, será de 40 mm.

La carga máxima que soportará el depósito en ésta situación, cargado de líquido, será de 15400 kg y, en éste caso, se comprueba que puede soportar todo el peso del depósito, ya que éste es 1273,37 kg, calculado en el apartado anterior.

## 7. CÁLCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

### 7.1.- Tensión admisible a tracción.

La máxima tensión a tracción a la que éste tipo de elementos pueden estar sometidos no podrá superar la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, es decir, 48° C, que se especifica en el apartado UG-23.a del Código ASME, Sección VIII, División 1, para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) ( $S = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$ ) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ( $E = 0,85$ ).

$$\sigma_{\text{TRACCIÓN}} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2.- Tensión admisible a compresión.

$$\sigma_{\text{COMPRESIÓN}} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$



**7.3.- Tensión admisible a pandeo.**

Será el valor menor de los siguientes:

- $\frac{1}{3} \times \text{lim.elástico} = \frac{1}{3} \times 2386,9 = 795,63 \text{ kg / cm}^2$
- $1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(t-c)}{R_0} = 1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(5-1,5)}{509} = 722,0 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, será  $\sigma_{\text{PANDEO}} = 722,0 \text{ kg / cm}^2$

**7.4.- Tensión admisible a prueba.**

Será, al igual que antes, el valor menor de los siguientes:

- $0,9 \times \text{lim.elástico} = 0,9 \times 2386,9 = 2148,21 \text{ kg / cm}^2$
- $0,495 \times \text{CARGA rotura} = 0,495 \times 5691,8 = 2817,44 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, la máxima tensión será  $\sigma = 2148,21 \text{ kg / cm}^2$

## **ANEXO II.8 DISEÑO MECÁNICO DEL DEPÓSITO DE HIDROMIEL**

Las dimensiones para el depósito de hidromiel son las siguientes:

$$V = 5000 \text{ L} = 5 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 1,619 \text{ m}$$

$$H = 2,429 \text{ m}$$

$$T_{\text{máx.operación}} = 40^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 60^\circ \text{ C} = 140^\circ \text{ F}$$

$$P_{\text{operación}} = 1 \text{ atm.}$$

$$P_{\text{diseño}} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{(\text{acero 304L, placa SA-240, T=140}^\circ \text{ F})} = 13400 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (psi)} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

### **1. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LA ENVOLVENTE**

Para calcular el espesor mínimo de la envolvente se hace según dos apartados diferentes.

#### ***1.1 Por especificación.***

A su vez se estiman dos valores diferentes:

- $t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(\text{mm}) = \frac{1619}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,66 \text{ mm}$

Se supone  $D_0$  (diámetro exterior) como  $D$  ya que no se dispone de ningún dato aún de espesor para poder calcularlo.

- $t_{\text{acero inoxidable}} = 3 \text{ mm}$

### 1.2 Según ASME Sección III División 1:

- ❖ Por tensión longitudinal:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4P} + c(mm)$$

siendo,

P = presión de diseño (kg/cm<sup>2</sup>)

R = radio interior (mm)

$$t = \frac{3,5 \times 1619 / 2}{942,1 \times 0,85 + 0,4 \times 3,5} + 1,5 = 5,03mm$$

- ❖ Por tensión circunferencial:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6P} + c(mm) = \frac{3,5 \times 809,5}{942,1 \times 0,85 - 0,6 \times 3,5} + 1,5 = 5,05mm$$

Después de éstos cálculos se toma como espesor mínimo para la envolvente el máximo valor de los cuatro calculados anteriormente, que es 5,66 mm (regido por la expresión de especificación) y al normalizarlo se tomará un espesor de 6 mm.

## 2. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LOS FONDOS

Al igual que para el cálculo de los fondos del depósito de miel se consideran los 3 tipos de fondos elíptico, Korboggen y Koppler, y se elegirá el que requiera menor espesor y cumpla los mismos requisitos.

Los resultados para los 3 tipos de fondos son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de fondo	L (mm)	r (mm)	M	t (mm)
Elíptico 2:1	-	-	-	5,04
Korboggen	1304,8	251,2	1,32	5,27
Koppler	1631	163,1	1,54	6,99

Tabla 25. Espesores calculados para los distintos tipos de fondos.

Se tomará el fondo que requiera menor espesor para que sea más económico, por tanto, se toma el fondo elíptico 2:1 de espesor 5,04 mm, que al normalizarlo sería de 6 mm.

Por tanto, se construirá todo el recipiente con un espesor de 6 mm.

### 3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PESTAÑA (h)

La pestaña es la parte cilíndrica del fondo donde se realiza la soldadura entre el cabezal y la envolvente. Se toma esta pestaña para evitar las soldaduras en la línea de tangencia entre el cabezal y la envolvente, porque es donde se acumulan todas las tensiones.

El valor de h será el mayor resultado de los siguientes casos:

$$h = 25\text{mm}$$

$$h = 3 \cdot t_{\text{Fondo}}$$

$$h = 0,3 \cdot \sqrt{D_0 \cdot t_{\text{Fondo}}}$$

El mayor valor que se obtiene son 29,68 mm, y al normalizarlo se toma un espesor de 30 mm.

### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL DEPÓSITO DE HIDROMIEL.

Se procede a calcular las dimensiones reales teniendo en cuenta los fondos.

El volumen total del depósito será:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{ENVOLVENTE}} + 2V_{\text{FONDOS}} + 2V_{\text{PESTAÑA}}$$

El volumen total es conocido, es 5 m<sup>3</sup>, y a partir de éste dato se calcularán los demás.

$$V_{\text{FONDO}} = 0,13 \cdot D^3 = 0,13 \times 1,619^3 = 0,552\text{m}^3$$

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi \times 1,619^2}{4} \times 0,030 = 0,062 m^3$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen total:

$$5 m^3 = V_{ENVOLVENTE} + 2 \times 0,552 + 2 \times 0,062 \Rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 3,772 m^3$$

Al igual que con el volumen se puede hacer con la altura:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2H_{FONDOS} + 2h$$

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi D^2}{4} H \Rightarrow H_{ENVOLVENTE} = \frac{4V_{ENVOLVENTE}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 3,772}{\pi \times 1,619^2} = 1,832 m$$

$$H_{FONDO} = 0,25 \cdot D = 0,25 \times 1619 = 0,405 m$$

Luego, sustituyendo los datos en la ecuación total:

$$H_{TOTAL} = 1,832 + 2 \times 0,405 + 2 \times 0,030 = 2,702 m$$

Se tendrá un volumen útil distinto al volumen total, y en dicho volumen útil no se considera el fondo superior. Se calcula de la siguiente manera:

$$V_{ÚTIL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDOINFERIOR} + 2V_{PESTAÑA}$$

$$V_{ÚTIL} = 3,772 + 0,552 + 2 \times 0,062 = 4,448 m^3$$

Como resumen se tendrá la siguiente tabla:

<b>DEPÓSITO DE HIDROMIEL</b>		
<b>ENVOLVENTE</b>	ESPESOR (mm)	6,000
	ALTURA (m)	1,832
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	3,772
<b>FONDOS</b>	ESPESOR (mm)	6,000
	ALTURA (m)	0,405
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,552
<b>PESTAÑA</b>	ALTURA (m)	0,030
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,062
<b>ALTURA TOTAL<sup>8</sup> (m)</b>		2,702
<b>DIÁMETRO INTERIOR (m)</b>		1,619
<b>DIÁMETRO EXTERIOR (m)</b>		1,631
<b>VOLUMEN ÚTIL (m<sup>3</sup>)</b>		4,448

Tabla 86. Dimensiones del depósito de hidromiel.

## 5. ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

5.1 *Cálculo de la tensión longitudinal en la envoltura debida a la presión interna.*

$$\sigma_{Pa} = \frac{P(D + 2c)}{4(t - c)} = \frac{3,5 \times (1619 + 2 \times 1,5)}{4 \times (6 - 1,5)} = 315,39 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{Pa}$  : tensión longitudinal en kg/cm<sup>2</sup>.

5.2 *Cálculo de pesos y tensiones debidas a esos pesos.*

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión.

a) *MONTAJE Y PARADA*

<sup>8</sup> La suma de la altura del depósito, sin incluir las patas.

Se calcula el peso de la envolvente sin líquido en el interior, es decir, el propio de la envolvente y la tensión debida a ese peso.

- Peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} P_{ENVOLVENTE} &= \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H \cdot \rho_{material} \cdot 10^{-6} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (D_0^2 - D^2) \times H_{ENV} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (1631^2 - 1619^2) \times 1832 = 440,48 \text{kg} \end{aligned}$$

$$\rho_{material} = 7,85 \text{kg} / \text{cm}^3$$

- Tensión debida al peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} \sigma_{TENSION} &= \frac{4P_{ENVOLVENTE} \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 440,48 \cdot 10^2}{\pi(1631^2 - (1619 + 2 \times 1,5)^2)} \\ \sigma_{TENSION} &= 1,92 \text{kg} / \text{cm}^2 \end{aligned}$$

### b) OPERACIÓN

En este caso es donde se tiene en cuenta el líquido en el interior de la envolvente, el peso propio de la envolvente y también se tendrán en cuenta los fondos y las tuberías conectadas al depósito.

- Peso de la envolvente.

$$P_{ENVOLVENTE} = 440,48 \text{kg} / \text{cm}^2$$

- Peso del líquido en la envolvente.

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ}$$

siendo

$\rho_{LIQ}$ : la densidad de la hidromiel, 990,0 kg/m<sup>3</sup> (25°C).

$V_{LIQUIDO}$ : es el volumen que ocupa la hidromiel en la envolvente, en m<sup>3</sup>.

$$P_{LIQ} = 3,772 \times 990,0 = 3734,28 \text{kg}$$

- Peso del líquido en los fondos.

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ} = 0,552 \times 997 = 550,34 \text{ kg}$$

- Peso de los fondos.

$$P_{FONDO} = 145,68 \text{ kg}$$

- Peso de las tuberías.

Se incrementará un 5% el peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10 (como es en este caso). Por tanto:

$$P_{TUBERIAS} = 0,05 \times P_{ENVOLVENTE} = 0,05 \times 440,48 = 22,02 \text{ kg}$$

- Peso total.

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i=1} P_i = P_{ENV} + P_{1.LIQ} + 2P_{FONDO} + 2P_{2.LIQ} + P_{TUB} = \\ &= 440,48 + 3734,28 + 2 \times 550,34 + 2 \times 145,68 + 22,02 = 5588,82 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Tensión debida al peso total.

$$\sigma_{W_i} = \frac{4W_j 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 5588,82 \cdot 10^2}{\pi(1631^2 - (1619 + 2 \times 1,5)^2)} = 24,31 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. CÁLCULO DEL DISEÑO DEL APOYO DEL DEPÓSITO

Para saber el tipo de soporte y el número necesario de ellos se debe observar la tabla en la que aparecen los distintos tipos en función del diámetro del recipiente, la misma tabla que se utilizó para el depósito de miel.



El diámetro exterior del depósito es de 1631 mm, por lo que según la tabla se pondrán como soporte 4 patas en forma de L de  $100 \times 100 \times 10 \text{ mm}$ , de altura aproximada de 1 m, del mismo material del que se ha realizado el depósito, es decir, acero inoxidable AISI 304L. Se soldará a una placa cuadrangular de 200 mm de lado y 10 mm de espesor. El conjunto irá anclado al suelo mediante unos pernos de anclaje, los cuales tendrán un diámetro de 27 mm. El diámetro de la situación de los taladros en el recipiente se obtiene de la expresión:

$$D_o - 50 = 1631 - 50 = 1581 \text{ mm}$$

Para cada taladro se debe hacer un diámetro de 33 mm.

El valor de A, es decir, la distancia que hay desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular, será de 65 mm.

La carga máxima que soportará el depósito en ésta situación, cargado de líquido, será de 31500 kg y, en éste caso, se comprueba que puede soportar todo el peso del depósito, ya que éste es 5588,82 kg, calculado en el apartado anterior.

## 7. CÁLCULOS DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

### 7.1.- Tensión admisible a tracción.

La máxima tensión a tracción a la que éste tipo de elementos pueden estar sometidos no podrá superar la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, es decir,  $60^\circ \text{ C}$ , que se especifica en el apartado UG-23.a del Código ASME, Sección VIII, División 1, para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 304L) ( $S = 13400 \text{ psi} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$ ) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ( $E=0,85$ ).

$$\sigma_{\text{TRACCIÓN}} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2.- Tensión admisible a compresión.

$$\sigma_{\text{COMPRESIÓN}} = S \cdot E = 942,1 \times 0,85 = 800,79 \text{ kg/cm}^2$$

**7.3.- Tensión admisible a pandeo.**

Será el valor menor de los siguientes:

- $\frac{1}{3} \times \text{lim.elástico} = \frac{1}{3} \times 2386,9 = 795,63 \text{kg} / \text{cm}^2$
- $1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(t-c)}{R_0} = 1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(6-1,5)}{815,5} = 579,40 \text{kg} / \text{cm}^2$

Por tanto, será  $\sigma_{\text{PANDEO}} = 579,40 \text{kg} / \text{cm}^2$

**7.4.- Tensión admisible a prueba.**

Será el valor menor de los siguientes:

- $0,9 \times \text{lim.elástico} = 0,9 \times 2386,9 = 2148,21 \text{kg} / \text{cm}^2$
- $0,495 \times \text{CARGA rotura} = 0,495 \times 5691,8 = 2817,44 \text{kg} / \text{cm}^2$

Por tanto, la máxima tensión será  $\sigma = 2148,21 \text{kg} / \text{cm}^2$

## **ANEXO II.9 DISEÑO MECÁNICO DEL FERMENTADOR ACÉTICO**

Las dimensiones de los fermentadores para su diseño son las siguientes:

$$V = 1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 947 \text{ mm}$$

$$H = 1421 \text{ mm}$$

$$T_{\text{max.operación}} = 34^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 54^\circ \text{ C}$$

$$P_{\text{max.operación}} = 1 \text{ atm}$$

$$P_{\text{diseño}} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{\text{(acero 316L, placa SA-240, T=123,8° F)}} = 13300 \text{ lb/pulg}^2 = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

### **1. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LA ENVOLVENTE**

Para calcular el espesor mínimo de la envolvente se hace según dos apartados diferentes.

#### **1.1. Por especificación**

A su vez, se estiman dos valores diferentes:

$$\bullet \quad t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(\text{mm}) = \frac{947}{1000} + 2,54 + 1,5 = 4,99 \text{ mm}$$

Se supone  $D_0$  (diámetro exterior) como  $D$  ya que no se dispone de ningún dato aún de espesor para poder calcularlo.

$$\bullet \quad t_{\text{acromoxidable}} = 3 \text{ mm}$$

#### **1.2 Según ASME Sección III División 1:**

❖ Por tensión longitudinal:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4P} + c(mm)$$

siendo,

P: presión de diseño ( $\text{kg/cm}^2$ )

R: radio interior (mm)

$$t = \frac{3,5 \times 947 / 2}{935,1 \times 0,85 + 0,4 \times 3,5} + 1,5 = 3,58mm$$

❖ Por tensión circunferencial:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6P} + c(mm) = \frac{3,5 \times 473,5}{935,1 \times 0,85 - 0,6 \times 3,5} + 1,5 = 3,59mm$$

Después de éstos cálculos se toma como espesor mínimo para la envolvente el máximo valor de los cuatro calculados anteriormente, que es 4,99 mm (regido por la expresión de especificación) y al normalizarlo se tomará un espesor de 5 mm.

## 2. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LOS FONDOS

Al igual que para el cálculo de los fondos de los recipientes anteriormente calculados, se consideran los 3 tipos de fondos: elíptico, Korboggen y Koppler, y se elegirá el que requiera menor espesor y cumpla los mismos requisitos.

Los resultados para los 3 tipos de fondos son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de fondo	L (mm)	r (mm)	M	t (mm)
Elíptico 2:1	-	-	-	3,59
Korboggen	765,6	147,4	1,32	3,72
Koppler	957	95,7	1,54	4,75

Tabla 27. Espesores calculados para los distintos tipos de fondos.

Se tomará el fondo que requiera menor espesor para que sea más económico, por tanto, se toma el fondo elíptico 2:1 de espesor 3,59 mm, que al normalizarlo sería de 4 mm.

Por tanto, el recipiente se construirá con un espesor de 5 mm, ya que es el mínimo necesario para la envolvente.

### 3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PESTAÑA (h)

La pestaña es la parte cilíndrica del fondo donde se realiza la soldadura entre el cabezal y la envolvente. Se toma esta pestaña para evitar las soldaduras en la línea de tangencia entre el cabezal y la envolvente, porque es donde se acumulan todas las tensiones.

El valor de h será el mayor resultado de los siguientes casos:

$$h = 25\text{mm}$$

$$h = 3 \cdot t_{\text{Fondo}}$$

$$h = 0,3 \cdot \sqrt{D_0 \cdot t_{\text{Fondo}}}$$

El mayor valor que se obtiene son 25 mm, y es el que se toma para la altura de la pestaña.

### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL FERMENTADOR

Se procede a calcular las dimensiones reales teniendo en cuenta los fondos.

El volumen total del fermentador será:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{ENVOLVENTE}} + 2V_{\text{FONDOS}} + 2V_{\text{PESTAÑA}}$$

El volumen total es conocido, es 1 m<sup>3</sup>, y a partir de éste dato se calcularán los demás.

$$V_{\text{FONDO}} = 0,13 \cdot D^3 = 0,13 \times 0,947^3 = 0,110\text{m}^3$$

$$V_{PESTAÑA} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi \times 0,947^2}{4} \times 0,025 = 0,018m^3$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen total:

$$1m^3 = V_{ENVOLVENTE} + 2 \times 0,110 + 2 \times 0,018 \Rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 0,744m^3$$

Al igual que con el volumen se puede hacer con la altura:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2H_{FONDOS} + 2h$$

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi D^2}{4} H \Rightarrow H_{ENVOLVENTE} = \frac{4V_{ENVOLVENTE}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0,744}{\pi \times 0,947^2} = 1,056m$$

$$H_{FONDO} = 0,25 \cdot 0,947 = 0,25 \times 0,947 = 0,237m$$

Luego, sustituyendo los datos en la ecuación total:

$$H_{TOTAL} = 1,056 + 2 \times 0,237 + 2 \times 0,025 = 1,580m$$

Se tendrá un volumen útil distinto al volumen total, y en dicho volumen útil no se considera el fondo superior. Se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\acute{U}TL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDOINFERIOR} + 2V_{PESTAÑA}$$

$$V_{\acute{U}TL} = 0,744 + 0,110 + 2 \times 0,018 = 0,890m^3$$

Como resumen se tendrá la siguiente tabla:

<b>FERMENTADOR ACÉTICO</b>		
<b>ENVOLVENTE</b>	ESPESOR (mm)	5,000
	ALTURA (m)	1,056
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,744
<b>FONDOS</b>	ESPESOR (mm)	5,000
	ALTURA (m)	0,237
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,110
<b>PESTAÑA</b>	ALTURA (m)	0,025
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,018
<b>ALTURA TOTAL<sup>9</sup> (m)</b>		1,580
<b>DIÁMETRO INTERIOR (m)</b>		0,947
<b>DIÁMETRO EXTERIOR (m)</b>		0,957
<b>VOLUMEN ÚTIL (m<sup>3</sup>)</b>		0,890

Tabla 98. Dimensiones del fermentador acético.

## 5. ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

5.1 *Cálculo de la tensión longitudinal en la envolvente debida a la presión interna.*

$$\sigma_{pa} = \frac{P(D + 2c)}{4(t - c)} = \frac{3,5 \times (947 + 2 \times 1,5)}{4 \times (5 - 1,5)} = 237,5 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{pa}$  : tensión longitudinal en kg/cm<sup>2</sup>.

5.2 *Cálculo de pesos y tensiones debidas a esos pesos.*

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión.

a) *MONTAJE Y PARADA.*

<sup>9</sup> La suma de la altura del depósito, sin incluir las patas.

Se calcula el peso de la envolvente sin líquido en el interior, es decir, el propio de la envolvente y la tensión debida a ese peso.

- Peso de la envolvente:

$$\begin{aligned}
 P_{ENVOLVENTE} &= \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H \cdot \rho_{material} \cdot 10^{-6} = \\
 &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (D_0^2 - D^2) \times H_{ENV} = \\
 &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (957^2 - 947^2) \times 1056 = 123,95 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{material} = 7,85 \text{ kg} / \text{cm}^3$$

- Tensión debida al peso de la envolvente:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{TENSION} &= \frac{4P_{ENVOLVENTE} \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 123,95 \cdot 10^2}{\pi(957^2 - (947 + 2 \times 1,5)^2)} \\
 \sigma_{TENSION} &= 1,18 \text{ kg} / \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

### b) OPERACIÓN

En este caso es donde se tiene en cuenta el líquido en el interior de la envolvente, el peso propio de la envolvente y también se tendrán en cuenta los fondos y las tuberías conectadas al fermentador.

- Peso de la envolvente.

$$P_{ENVOLVENTE} = 123,95 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

- Peso del líquido en la envolvente.

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ}$$

siendo

$\rho_{LIQ}$  : la densidad de la mezcla en el fermentador, 995,0 kg/m<sup>3</sup>.

$V_{LIQUIDO}$  : el volumen en la envolvente, en m<sup>3</sup>.

$$P_{LIQ} = 0,744 \times 995,0 = 740,28 \text{ kg}$$



- Peso del líquido en los fondos.

Teniendo en cuenta que los fondos elegidos son tipo elíptico:

$$P_{LIQUIDO} = V_{LIQ} \cdot \rho_{LIQ} = 0,110 \times 995,0 = 109,45 \text{ kg}$$

- Peso de los fondos.

$$P_{FONDO} = 42,71 \text{ kg}$$

- Peso de las tuberías.

Se incrementará un 5% el peso del recipiente, si la relación H/D es menor de 10 (como es en este caso). Por tanto:

$$P_{TUBERIAS} = 0,05 \times P_{ENVOLVENTE} = 0,05 \times 123,95 = 6,20 \text{ kg}$$

- Peso total.

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i=1} P_i = P_{ENV} + P_{1.LIQ} + 2P_{FONDO} + 2P_{2.LIQ} + P_{TUB} = \\ &= 123,95 + 740,28 + 2 \times 109,45 + 2 \times 42,71 + 6,2 = 1174,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Tensión debida al peso total.

$$\sigma_{w_i} = \frac{4W_j \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 1174,75 \cdot 10^2}{\pi(957^2 - (947 + 2 \times 1,5)^2)} = 11,20 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. CÁLCULO DEL DISEÑO DEL APOYO DEL DEPÓSITO

Para saber el tipo de soporte y el número necesario de ellos se debe observar la tabla en la que aparecen los distintos tipos en función del diámetro del recipiente, la misma tabla que se utilizó para el cálculo de los recipientes anteriores.

El diámetro exterior de los fermentadores es de 870 mm, por lo que según la tabla se pondrán como soporte 4 patas en forma de L de  $70 \times 70 \times 10 \text{ mm}$ , de altura aproximada de 1 m, del mismo material del que se ha realizado el depósito, es decir, acero inoxidable AISI 316L. Se soldará a una placa cuadrangular de 120 mm de lado y 10 mm de espesor. El conjunto irá anclado al suelo mediante unos pernos de anclaje, los cuales tendrán un diámetro de 20 mm. El diámetro de la situación de los taladros en el recipiente se obtiene de la expresión:

$$D_o - 50 = 957 - 50 = 907 \text{ mm}$$

Para cada taladro se debe hacer un diámetro de 26 mm.

El valor de A, es decir, la distancia que hay desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular, será de 40 mm.

La carga máxima que soportará el depósito en ésta situación, cargado de líquido, será de 15400 kg y, en éste caso, se comprueba que puede soportar todo el peso del depósito, ya que éste es 1174,75 kg, calculado en el apartado anterior.

## 7. CÁLCULOS DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

### 7.1.- Tensión admisible a tracción.

La máxima tensión a tracción a la que éste tipo de elementos pueden estar sometidos no podrá superar la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, es decir,  $52^\circ \text{ C}$ , que se especifica en el apartado UG-23.a del Código ASME, Sección VIII, División 1, para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 316L) ( $S = 13300 \text{ psi} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$ ) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ( $E = 0,85$ ).

$$\sigma_{\text{TRACCIÓN}} = S \cdot E = 935,1 \times 0,85 = 794,84 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2.- Tensión admisible a compresión.

- Tensión admisible a la tracción para  $E = 1$ .

$$\sigma_{\text{COMPRESIÓN}} = S \cdot E = 935,1 \times 0,85 = 794,84 \text{ kg/cm}^2$$

**7.3.- Tensión admisible a pandeo.**

Será el valor menor de los siguientes:

- $\frac{1}{3} \times \text{lim.elástico} = \frac{1}{3} \times 2386,9 = 795,63 \text{ kg / cm}^2$
- $1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(t-c)}{R_0} = 1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(5-1,5)}{478,5} = 768,03 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, será  $\sigma_{\text{PANDEO}} = 768,03 \text{ kg / cm}^2$

**7.4.- Tensión admisible a prueba.**

Será, al igual que antes, el valor menor de los siguientes:

- $0,9 \times \text{lim.elástico} = 0,9 \times 2386,9 = 2148,21 \text{ kg / cm}^2$
- $0,495 \times \text{CARGA rotura} = 0,495 \times 5691,8 = 2817,44 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, la máxima tensión será  $\sigma = 2148,21 \text{ kg / cm}^2$ .

**ANEXO II.10 DISEÑO DEL MEZCLADOR DE VINAGRE DE MIEL Y MIEL**

Las dimensiones elegidas para el mezclador de vinagre de miel y miel son:

$$V = 5000 \text{ L} = 5 \text{ m}^3$$

$$H/D = 1,5$$

$$D = 1,619 \text{ m}$$

$$H = 2,429 \text{ m}$$

$$T_{\text{máx.operación}} = 40^\circ \text{ C}$$

$$T_{\text{diseño}} = 60^\circ \text{ C} = 140^\circ \text{ F}$$

$$P_{\text{operación}} = 1 \text{ atm.}$$

$$P_{\text{diseño}} = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{(\text{acero 316L, placa SA-240, } T=140^\circ \text{ F})} = 13300 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (psi)} = 935,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 1,5 \text{ mm}$$

$$E = 0,85$$

**1. CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LA ENVOLVENTE**

Para calcular el espesor mínimo de la envolvente se hace según dos apartados diferentes.

**1.1 Por especificación.**

A su vez se estiman dos valores diferentes:

- $t = \frac{D_0}{1000} + 2,54 + c(\text{mm}) = \frac{1619}{1000} + 2,54 + 1,5 = 5,66 \text{ mm}$

Se supone  $D_0$  (diámetro exterior) como  $D$  ya que no se dispone de ningún dato aún de espesor para poder calcularlo.

- $t_{\text{acero inoxidable}} = 3 \text{ mm}$

**1.2 Según ASME Sección III División 1:**

❖ Por tensión longitudinal:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E + 0,4P} + c(mm)$$

siendo,

P: presión de diseño ( $kg/cm^2$ )

R: radio interior (mm)

$$t = \frac{3,5 \times 1619 / 2}{935,1 \times 0,85 + 0,4 \times 3,5} + 1,5 = 5,06mm$$

❖ Por tensión circunferencial:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6P} + c(mm) = \frac{3,5 \times 809,5}{935,1 \times 0,85 - 0,6 \times 3,5} + 1,5 = 5,07mm$$

Después de éstos cálculos se toma como espesor mínimo para la envolvente el máximo valor de los cuatro calculados anteriormente, que es 5,66 mm (regido por la expresión de especificación) y al normalizarlo se tomará un espesor de 6 mm.

## 2. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LOS FONDOS

Al igual que para el cálculo de los fondos del depósito de miel se consideran los 3 tipos de fondos elíptico, Korboggen y Koppler, y se elegirá el que requiera menor espesor y cumpla los mismos requisitos.

Los resultados para los 3 tipos de fondos son los que se muestran en la siguiente tabla:

1Tipo de fondo	L (mm)	r (mm)	M	t (mm)
Elíptico 2:1	-	-	-	5,04
Korboggen	1304,8	251,2	1,32	5,27
Koppler	1631	163,1	1,54	6,99

Tabla 29. Espesores calculados para los distintos tipos de fondos.

Se tomará el fondo que requiera menor espesor para que sea más económico, por tanto, se toma el fondo elíptico 2:1 de espesor 5,04 mm, que al normalizarlo sería de 6 mm.

Por tanto, se construirá todo el recipiente con un espesor de 6 mm.

### 3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PESTAÑA (h)

La pestaña es la parte cilíndrica del fondo donde se realiza la soldadura entre el cabezal y la envolvente. Se toma esta pestaña para evitar las soldaduras en la línea de tangencia entre el cabezal y la envolvente, porque es donde se acumulan todas las tensiones.

El valor de h será el mayor resultado de los siguientes casos:

$$h = 25\text{mm}$$

$$h = 3 \cdot t_{\text{Fondo}}$$

$$h = 0,3 \cdot \sqrt{D_0 \cdot t_{\text{Fondo}}}$$

El mayor valor que se obtiene son 29,68 mm, y al normalizarlo se toma un espesor de 30 mm.

### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL MEZCLADOR

Se procede a calcular las dimensiones reales teniendo en cuenta los fondos.

El volumen total del depósito será:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{ENVOLVENTE}} + 2V_{\text{FONDOS}} + 2V_{\text{PESTAÑA}}$$

El volumen total es conocido, es 5 m<sup>3</sup>, y a partir de éste dato se calcularán los demás.

$$V_{\text{FONDO}} = 0,13 \cdot D^3 = 0,13 \times 1,619^3 = 0,552\text{m}^3$$

$$V_{\text{PESTAÑA}} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi \times 1,619^2}{4} \times 0,030 = 0,062\text{m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen total:

$$5m^3 = V_{ENVOLVENTE} + 2 \times 0,552 + 2 \times 0,062 \Rightarrow V_{ENVOLVENTE} = 3,772m^3$$

Al igual que con el volumen se puede hacer con la altura:

$$H_{TOTAL} = H_{ENVOLVENTE} + 2H_{FONDOS} + 2h$$

$$V_{ENVOLVENTE} = \frac{\pi D^2}{4} H \Rightarrow H_{ENVOLVENTE} = \frac{4V_{ENVOLVENTE}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 3,772}{\pi \times 1,619^2} = 1,832m$$

$$H_{FONDO} = 0,25 \cdot D = 0,25 \times 1,619 = 0,405m$$

Luego, sustituyendo los datos en la ecuación total:

$$H_{TOTAL} = 1,832 + 2 \times 0,405 + 2 \times 0,030 = 2,702m$$

Se tendrá un volumen útil distinto al volumen total, y en dicho volumen útil no se considera el fondo superior. Se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\acute{U}TIL} = V_{ENVOLVENTE} + V_{FONDOINFERIOR} + 2V_{PESTAÑA}$$

$$V_{\acute{U}TIL} = 3,772 + 0,552 + 2 \times 0,062 = 4,448m^3$$

Como resumen se tendrá la siguiente tabla:

MEZCLADOR		
ENVOLVENTE	ESPESOR (mm)	6,000
	ALTURA (m)	1,832
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	3,772
FONDOS	ESPESOR (mm)	6,000
	ALTURA (m)	0,405
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,552
PESTAÑA	ALTURA (m)	0,030
	VOLÚMEN (m <sup>3</sup> )	0,062
ALTURA TOTAL <sup>10</sup> (m)		2,702
DIÁMETRO INTERIOR (m)		1,619
DIÁMETRO EXTERIOR (m)		1,631
VOLUMEN ÚTIL (m <sup>3</sup> )		4,448

Tabla 30. Tabla resumen dimensiones del mezclador.

## 5. ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

### 5.1 Cálculo de la tensión longitudinal en la envolvente debida a la presión interna.

$$\sigma_{pa} = \frac{P(D + 2c)}{4(t - c)} = \frac{3,5 \times (1619 + 2 \times 1,5)}{4 \times (6 - 1,5)} = 315,39 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{pa}$  : tensión longitudinal en kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.2 Cálculo de pesos y tensiones debidas a esos pesos.

El peso del recipiente da origen a un esfuerzo de compresión.

#### a) MONTAJE Y PARADA.

<sup>10</sup> La suma de la altura del depósito, sin incluir las patas.



Se calcula el peso de la envolvente sin líquido en el interior, es decir, el propio de la envolvente y la tensión debida a ese peso.

- Peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} P_{ENVOLVENTE} &= \frac{\pi(D_0^2 - D^2)}{4} H \cdot \rho_{material} \cdot 10^{-6} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (D_0^2 - D^2) \times H_{ENV} = \\ &= 6,165 \cdot 10^{-6} \times (1631^2 - 1619^2) \times 1832 = 440,48kg \end{aligned}$$

$$\rho_{material} = 7,85kg / cm^3$$

- Tensión debida al peso de la envolvente:

$$\begin{aligned} \sigma_{TENSION} &= \frac{4P_{ENVOLVENTE} \cdot 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 440,48 \cdot 10^2}{\pi(1631^2 - (1619 + 2 \times 1,5)^2)} \\ \sigma_{TENSION} &= 1,92kg / cm^2 \end{aligned}$$

## b) OPERACIÓN

En este caso es donde se tiene en cuenta el líquido en el interior de la envolvente, el peso propio de la envolvente y también se tendrán en cuenta los fondos y las tuberías conectadas al depósito.

- Peso de la envolvente.

$$P_{ENVOLVENTE} = 440,48kg / cm^2$$

- Peso del líquido en la envolvente.

$$P_{LIQUIDO} = V_{liq} \cdot \rho_{LIQ}$$

siendo

$\rho_{LIQ}$  : la densidad del vinagre, 1,0000 kg/m<sup>3</sup> ( 25°C).

$V_{LIQUIDO}$  : volumen que ocupa en la envolvente, en m<sup>3</sup>.

$$P_{LIQ} = 3,772 \times 1000 = 3772kg$$

- Peso del líquido en los fondos.

Teniendo en cuenta que los fondos elegidos son tipo elíptico:

$$P_{LÍQUIDO} = V_{LÍQ} \cdot \rho_{LÍQ} = 0,552 \times 1000 = 552,0 \text{ kg}$$

- Peso de los fondos.

$$P_{FONDO} = 169,96 \text{ kg}$$

- Peso de las tuberías.

Se incrementará un 5% el peso del recipiente si la relación H/D es menor de 10 (como es en este caso). Por tanto:

$$P_{TUBERÍAS} = 0,05 \times P_{ENVOLVENTE} = 0,05 \times 440,48 = 22,02 \text{ kg}$$

- Peso total.

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i=1} P_i = P_{ENV} + P_{1,LIQ} + 2P_{FONDO} + 2P_{2,LIQ} + P_{TUB} = \\ &= 440,48 + 3772 + 2 \times 552,0 + 2 \times 169,96 + 22,02 = 5678,42 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Tensión debida al peso total.

$$\sigma_{wi} = \frac{4W_j 10^2}{\pi(D_0^2 - (D + 2c)^2)} = \frac{4 \times 5678,42 \cdot 10^2}{\pi(1631^2 - (1619 + 2 \times 1,5)^2)} = 24,70 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. CÁLCULO DEL DISEÑO DEL APOYO DEL DEPÓSITO

Para saber el tipo de soporte y el número necesario de ellos se debe observar la tabla en la que aparecen los distintos tipos en función del diámetro del recipiente, la misma tabla que se utilizó para el depósito de miel.

El diámetro exterior del depósito es de 1631 mm, por lo que según la tabla se pondrán como soporte 4 patas en forma de L de  $100 \times 100 \times 10 \text{ mm}$ , de altura aproximada de 1 m, del mismo material del que se ha realizado el depósito, es decir, acero inoxidable ANSI 316L. Se soldará a una placa cuadrangular de 200 mm de lado y 10 mm de espesor. El conjunto irá anclado al suelo mediante unos pernos de anclaje, los cuales tendrán un diámetro de 27 mm. El diámetro de la situación de los taladros en el recipiente se obtiene de la expresión:

$$D_o - 50 = 1631 - 50 = 1581 \text{ mm}$$

Para cada taladro se debe hacer un diámetro de 33 mm.

El valor de A, es decir, la distancia que hay desde el centro del taladro hasta el final de la placa cuadrangular, será de 65 mm.

La carga máxima que soportará el depósito en ésta situación, cargado de líquido, será de 31500 kg y, en éste caso, se comprueba que puede soportar todo el peso del depósito, ya que éste es 5678,42 kg, calculado en el apartado anterior.

## 7. CÁLCULOS DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

### 7.1.- Tensión admisible a tracción.

La máxima tensión a tracción a la que éste tipo de elementos pueden estar sometidos no podrá superar la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño, es decir,  $60^\circ \text{ C}$ , que se especifica en el apartado UG-23.a del Código ASME, Sección VIII, División 1, para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 304L) ( $S = 13400 \text{ psi} = 942,1 \text{ kg/cm}^2$ ) y afectada por el coeficiente de eficiencia de la soldadura ( $E=0,85$ ).

$$\sigma_{\text{TRACCIÓN}} = S \cdot E = 935,1 \times 0,85 = 794,84 \text{ kg/cm}^2$$

**7.2.- Tensión admisible a compresión.**

$$\sigma_{COMPRESIÓN} = S \cdot E = 935,1 \times 0,85 = 794,84 \text{ kg / cm}^2$$

**7.3.- Tensión admisible a pandeo.**

Será el valor menor de los siguientes:

- $\frac{1}{3} \times \text{lím.elástico} = \frac{1}{3} \times 2386,9 = 795,63 \text{ kg / cm}^2$
- $1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(t-c)}{R_0} = 1,05 \cdot 10^5 \times \frac{(7-1,5)}{816,5} = 707,29 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, será  $\sigma_{PANDEO} = 707,29 \text{ kg / cm}^2$

**7.4.- Tensión admisible a prueba.**

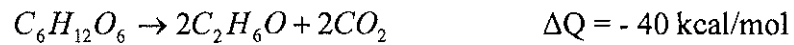
Será, al igual que antes, el valor menor de los siguientes:

- $0,9 \times \text{lím.elástico} = 0,9 \times 2386,9 = 2148,21 \text{ kg / cm}^2$
- $0,495 \times \text{CARGArotura} = 0,495 \times 5691,8 = 2817,44 \text{ kg / cm}^2$

Por tanto, la máxima tensión será  $\sigma = 2148,21 \text{ kg / cm}^2$

### ANEXO III. 1 CALOR QUE SE DESPRENDE EN LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

La fermentación alcohólica es un proceso exotérmico:



Pero de éste calor liberado en la reacción una parte es utilizado por las levaduras para su propio desarrollo y el resto es energía liberada al medio fermentativo en forma de calor, aproximadamente unas 25 kcal/mol.

Sabiendo que:

$$1^\circ \text{alcoh.} \rightarrow \frac{8,1gC_2H_6O}{1L \text{disolución}}$$

$$P_M (\text{e tan ol}) = 46,07g / mol$$

Realizando los cálculos oportunos:

$$\frac{8,1gC_2H_6O}{1L \text{hidromiel}} \times \frac{1mol}{46,07g} = 0,176 \text{ mol etanol/L hidromiel y cada grado alcohólico}$$

Sabiendo que la capacidad útil del fermentador son 800 L, y si se considera que todo el volumen se transforma en hidromiel, entonces, se generan 140,8 mol de etanol por cada grado alcohólico producido.

Si la velocidad de fermentación alcohólica es de 1° alcohólico/día entonces se generan 140,8 mol etanol/día.

Según la estequiometría de la reacción 1:2 se transforman 70,4 mol de glucosa/día.

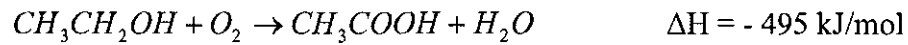
Como se sabe que en la reacción se desprende un calor de 25 kcal/mol, entonces, el calor total que se desprende:

$$25 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \times \frac{70,4 \text{ mol } \textit{glucosa}}{\text{día}} = 1760 \text{ kcal/día} = 73,3 \text{ kcal/h}$$

Éste es el calor máximo posible, que es el que se desprende en la etapa de arranque.

**ANEXO III.2 CALOR QUE SE DESPRENDE EN LA FERMENTACIÓN****ACÉTICA**

La fermentación acética es una reacción exotérmica:



Sabiendo que:

$$1^\circ \text{ acético} \rightarrow \frac{10 \text{ g acético}}{1 \text{ L vinagre}}$$

$$P_M (\text{ác. acético}) = 60,053 \text{ g/mol}$$

Realizando los cálculos oportunos:

$$\frac{10 \text{ g ac. acético}}{1 \text{ L vinagre}} \times \frac{1 \text{ mol}}{60,053 \text{ g}} = 0,1665 \text{ mol ac. acético/L vinagre y cada grado de ac. acético}$$

Sabiendo que la capacidad útil del fermentador son 800 L, y si se considera que todo el volumen se transforma en vinagre, entonces, se generan 133,2 mol ácido acético por cada grado producido.

Si la velocidad de acetificación admitida en la bibliografía es de 2° acético/día<sup>4</sup> entonces se generan 266,4 mol acético/día.

Según la estequiometría de la reacción 1:1 se transforman 266,4 mol de etanol/día.

Como se sabe que en la reacción se desprende un calor de 495 kJ/mol, entonces, el calor total que se desprende:

$$495 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times \frac{266,4 \text{ mol } C_2H_4O_2}{\text{día}} = 131.868 \text{ kJ/día} = 1312,686 \text{ kcal/h}$$

Éste es el calor máximo posible, que es el que se desprende en la etapa de arranque.

<sup>4</sup> Se considera ésta acetificación para después sobredimensionar el serpentín.

### **ANEXO III.3 CÁLCULO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL FERMENTADOR ACÉTICO**

En el presente proyecto se determina qué tipo de sistema de refrigeración se va a emplear para mantener la temperatura del fermentador acético como máximo a 31° C. La refrigeración que se calcula en este anexo es para el caso en que las bacterias están realizando la fermentación y ha pasado la etapa inicial, donde las transformaciones son más lentas y apenas es necesario evacuar el calor que se desprende en el proceso. Durante estos momentos iniciales es posible que no haya que retirar calor del sistema si el ciclo de fermentación se lleva a cabo en épocas de baja temperatura ambiente, incluso puede que sea necesario suministrar calor al medio de fermentación para acortar las primeras etapas de la fermentación y acercar la temperatura del medio a 31° C. Esto se llevará a cabo mediante la circulación de agua caliente por el serpentín.

El calor a eliminar no es demasiado grande, ni la temperatura óptima de fermentación demasiado alta, por lo que un serpentín interno sería adecuado. El proceso tiene una serie de variables que serán fundamentales a la hora de diseñar el sistema de refrigeración, entre otros parámetros habrá que determinar el área de transmisión de calor requerida para no superar la temperatura óptima de fermentación.

La nomenclatura que se seguirá será la siguiente:

$D_0$ : diámetro exterior del fermentador.

$D_i$ : diámetro interior del fermentador.

$T_F$ : temperatura de la masa de fluido en el fermentador, 31° C (304° K).

$T_E$ : temperatura de entrada del agua de refrigeración, 25° C (285° K).

Se toma ésta temperatura pues será superior en varios grados de temperatura a la temperatura que se tendría en el caso más desfavorable en que el agua de red llegue más caliente (durante la época del verano) y menos calor pueda absorber del medio fermentativo. Se considera esta temperatura para sobredimensionar el serpentín.

$T_S$ : temperatura de salida del agua de refrigeración.

$T_a$ : temperatura ambiente, 20° C (293° K).

Como se verá a lo largo del cálculo de la longitud del serpentín y se explica en el *Apartado 4.1*, para el caso de que la temperatura exterior fuera mayor a la

considerada en éstos cálculos, dicha longitud del serpentín no se vería afectada de forma significativa.

$U_F$ : coeficiente global de transmisión de calor de las paredes del fermentador.

$U_S$ : coeficiente global de transferencia de calor del serpentín.

$\Delta T_{ml}$ : temperatura media logarítmica.

$a$ : área exterior del serpentín.

$A$ : área interior del fermentador.

Los fluidos que participan en el sistema son:

- Fluido caliente: medio fermentativo que está dentro del fermentador.
- Fluido frío: agua de la red que circula por el serpentín.

Los balances de calor, tanto para el fluido caliente como para el fluido frío, vienen dados por la siguiente expresión:

$$(ENTRADA) + (GENERACIÓN) = (SALIDA) + (ACUMULACIÓN)$$

## 1. BALANCE DE ENERGÍA AL FLUIDO DEL FERMENTADOR

Realizando el balance de energía se llega a la siguiente expresión:

$$Q_g = [U_F \cdot A \cdot (T_F - T_a)] + (U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml}) \quad [1]$$

siendo:

- $Q_g$ : calor generado en la fermentación. Como ya se vio en el Anexo anterior, este término tiene un valor de 1312,6 kcal/h.
- $\Delta T_{ml}$ : temperatura media logarítmica. Se emplea el incremento de temperatura medio logarítmico ya que la diferencia de temperatura entre el fluido del fermentador y el agua de refrigeración variará a lo largo del serpentín.



$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_E - \Delta T_S}{\ln \frac{\Delta T_E}{\Delta T_S}} \quad [2]$$

- $U_F \cdot A \cdot (T_F - T_a)$ : término que expresa el calor que se disipa a través de las paredes del fermentador.
- $U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml}$ : término que expresa el calor que se disipa a través de las paredes del serpentín.
- El término de acumulación en este caso se considerará nulo porque se supondrá que el sistema alcanza el estado estacionario.
- El término de entrada en este balance ocurrirá solamente cuando la temperatura ambiente sea superior a la temperatura del fermentador, por lo que en este caso también se considera nulo.

En el caso que la temperatura ambiente sea superior a la temperatura del fermentador lo que ocurriría es que el término de salida que expresa el calor que se disipa a través de las paredes del fermentador sería entonces nulo y el término de entrada tendría la forma de dicho término de salida.

## 2. BALANCE DE ENERGÍA AL AGUA DE REFRIGERACIÓN

En este caso haciendo el balance al serpentín de refrigeración queda de la siguiente forma:

$$U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml} = - w \cdot C_p \cdot (T_E - T_S) \quad [3]$$

siendo:

- $U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml}$ : término que expresa la entrada de calor.
- $- w \cdot C_p \cdot (T_E - T_S)$ : término que expresa el calor retirado por la corriente convectiva del agua de refrigeración.
- Tanto el término de acumulación como el término de entrada del balance de energía en este caso serán nulos.
- $w$ : caudal másico del agua de refrigeración. (kg/h).
- $C_p$ : calor específico del agua refrigerante (J/kg·K).

Por lo tanto, de las dos ecuaciones anteriores, [1] y [2], las variables que se desconocen son  $U_s$ ,  $a$ ,  $w$ ,  $T_s$ ,  $\Delta T_{ml}$  y  $U_F$ . En los apartados siguientes se muestra su cálculo.

### 3. CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DEL SERPENTÍN $U_s$

Una vez se tiene el balance de energía del serpentín y conocidas las variables en él implicadas, se procede a hacer el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor del serpentín.

Dicho coeficiente representa la resistencia que se opone a la transmisión de calor y es la suma de las resistencias debidas a la transmisión por convección en el seno del agua de refrigeración, la transmisión por conducción a través de las paredes del serpentín y la transmisión por convección en el seno del medio fermentativo, y para superficies cilíndricas se expresa como:

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_{Si} \left( \frac{D_{Ti}}{D_{To}} \right)} + \frac{1}{2} \frac{D_{To}}{k} \ln \frac{D_{To}}{D_{Ti}} + \frac{1}{h_{Se}}$$

siendo:

$h_{Si}$ : coeficiente de convección en el interior del serpentín.

$k$ : conductividad térmica del serpentín (acero inoxidable).  $k_{aceroinoxid.} = 17,5$  W/m·K (válido entre 0 y 100° C).

$h_{Se}$ : coeficiente de convección en el seno del medio fermentativo.

Como las paredes del serpentín son de acero inoxidable, la conductividad térmica del material del serpentín,  $k$ , es muy elevada ( 16,3 W/m K a 23° C), lo que hace que el segundo sumatorio de la expresión anterior sea muy pequeño. Y por tanto, el valor del coeficiente global del serpentín viene condicionado fundamentalmente por los valores de  $h_{Si}$  y  $h_{Se}$ .

### 3.1. Cálculo de $h_{Si}$ .

Para el cálculo del coeficiente de convección  $h_{Si}$  existen expresiones que dependen de números adimensionales (Nusselt, Reynolds, Prandtl).

El número adimensional de Nusselt varía según las condiciones de trabajo y para esta situación en la que el agua circula por el interior de la tubería del serpentín, con un flujo que se puede considerar como turbulento, en función de la velocidad del agua, se toma la expresión de Dittus-Boelter:

$$Nu_D = 0,023 \cdot Re_D^{0,8} \cdot Pr^n$$

$$n = 0,3 \text{ si se enfría el fluido } (T_{salida} < T_m)$$

$$n = 0,4 \text{ si se calienta } (T_{salida} > T_m)$$

Esta ecuación está limitada a las siguientes condiciones:

- $Re > 10^4$
- $0,7 < Pr < 100$
- $L/D > 60$

Siendo las expresiones de los números adimensionales las siguientes:

$$Nu = \frac{h_i \cdot D_{Ti}}{k_{agua}} \quad Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k_{agua}}$$

Si se estima el coeficiente mediante la expresión anterior dependerá del número de Reynolds, y, por tanto, dependerá de la velocidad lineal ( $v$ ). Dicha velocidad de momento se desconoce, puesto que uno de los parámetros a determinar en el dimensionamiento del serpentín es el caudal másico necesario del agua para calentar el fluido del depósito.

Por tanto, todas las ecuaciones se expresarán en función de la velocidad,  $v$ , o del caudal másico,  $w$ , y una vez se haya estimado podrá calcularse el valor del coeficiente de convección  $h_{Si}$ .

Para los cálculos se han evaluado las propiedades del agua a una temperatura de 25° C. Tal como se comentó anteriormente, éste será el caso más desfavorable en que el agua de red llegue más caliente (durante la época del verano) y menos calor pueda

absorber del medio fermentativo, y al igual que se comentó al principio de este anexo, se considera la temperatura más probable en épocas de altas temperaturas ambientales en la zona de implantación del proyecto.

$$\text{Densidad del agua (25° C), } \rho_{H_2O} = 995 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Viscosidad del agua (25° C), } \mu_{H_2O} = 0,00095 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

$$C_{p_{H_2O}} (25° \text{ C}) = 1 \text{ kcal/kg}\cdot^\circ \text{ C}$$

$$k_{H_2O} (25° \text{ C}) = 0,514 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ \text{ C} = 1,428\cdot 10^{-4} \text{ kcal/s}\cdot\text{m}\cdot^\circ \text{ C}$$

Para el serpentín se ha seleccionado una tubería de acero inoxidable ASTM-Tp 316L de diámetro nominal ½”, a la que le corresponde:

$$\text{Diámetro interno, } D_{Ti} = 17,1 \text{ mm.}$$

$$\text{Diámetro externo, } D_{Te} = 21,3 \text{ mm.}$$

$$\text{Espesor, } e_s = 2,11 \text{ mm.}$$

$$\text{Conductividad térmica, } k_{aceroinoxid.} = 17,5 \text{ W/m}\cdot\text{K} = 15,07 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot\text{K} \text{ (válido entre 0 y 100° C).}$$

A partir de estos datos se obtienen:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{995(\text{kg/m}^3) \times 0,0171(\text{m})}{0,00095(\text{kg/m}\cdot\text{s})} \times v(\text{m/s}) = 17910 \times v$$

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k_{agua}} = \frac{1(\text{kcal/kg}\cdot^\circ \text{ C}) \times 0,00095(\text{kg/m}\cdot\text{s})}{1,428 \cdot 10^{-4}(\text{kcal/s}\cdot\text{m}\cdot^\circ \text{ C})} = 6,65$$

Sustituyendo en la expresión de Nusselt y despejando resulta que el valor de  $h_{Si}$  es:

$$h_{Si} = 0,023 \cdot (17910 \cdot v)^{0,8} \cdot (6,65)^{0,4} \cdot \frac{0,514}{0,0171} = 3726,49 \cdot v^{0,8} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \left( \frac{\text{s}}{\text{m}} \right)^{0,8}$$

Este valor obtenido con la ecuación de Dittus-Boelter es válido para tubos rectos, pero en el caso que no lo sea, hay que añadir un valor corregido, el cual vendrá definido por la correlación de McAdams:

$$h_{St, \text{corregido}} = h_{St} \left( 1 + 3,5 \frac{D}{D_e} \right)$$

siendo:

D: diámetro interior de la tubería, 0,0171 m.

$D_e$ : diámetro de la espiral del serpentín (0,747 m). Este dato se obtiene de dejar un margen por cada lado del tanque de unos 10 cm, en función del diámetro interior del fermentador.

Con lo cual, el coeficiente corregido tomará un valor de:

$$h_{St, \text{corregido}} = 4025,06 \cdot v^{0,8} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \left( \frac{\text{s}}{\text{m}} \right)^{0,8}$$

En vez de utilizar la velocidad se va a utilizar el caudal másico, y para escribir la expresión anterior en función del caudal másico sólo es necesario tener en cuenta la ecuación de continuidad:

$$Q = v \cdot S \quad Q = \frac{w}{\rho} \quad S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{w}{\rho \cdot S} = \frac{w}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{4 \cdot w}{\rho \cdot \pi \cdot D^2}$$

sustituyendo en la expresión anterior:

$$h_{St, \text{corregido}} = 4025,06 \times \left( \frac{4 \cdot w}{\rho \cdot \pi \cdot D^2} \right)^{0,8} = 4025,06 \times \left( \frac{4 \times w}{995 \times \pi \times 0,0171^2} \right)^{0,8}$$

$$h_{St, \text{corregido}} = 13111,37 \times w^{0,8} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \left( \frac{\text{s}}{\text{kg}} \right)^{0,8}$$

### 3.2. Cálculo de $h_{Se}$ .

La estimación rigurosa del coeficiente de convección en la masa del fermentador,  $h_{Se}$ , es bastante compleja.

Para el cálculo de este dato y, por consiguiente, del tercer término en la expresión del cálculo del coeficiente global, se ha de suponer que se está en condiciones de convección forzada, puesto que en el exterior lo que se tiene es el fluido del fermentador agitado.

La bibliografía proporciona un valor para el coeficiente de convección en el seno del líquido para un caso similar en el que el fluido circula por una tubería circular:

$$h_{Se} = 573,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} = 493 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Más adelante, en el apartado 7 se calcula este coeficiente teniendo en cuenta el caudal de agua que circulará por el interior del serpentín.

### 3.3. Resultado de $U_s$ .

Con los valores de  $h_{Si}$  y  $h_{Se}$  calculados ya se puede realizar el cálculo de  $U_s$ .

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_s} &= \frac{1}{h_{Si} \left( \frac{D_{Ti}}{D_{To}} \right)} + \frac{1}{2 k_{serpentín}} \ln \frac{D_{To}}{D_{Ti}} + \frac{1}{h_{Se}} = \\ &= \frac{1}{13111,37 \times w^{0,8} \times \left( \frac{17,1}{21,3} \right)} + \frac{1}{2} \times \frac{0,0213}{15,07} \times \ln \left( \frac{21,3}{17,1} \right) + \frac{1}{493} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{U_s} = 9,5 \cdot 10^{-5} \cdot w^{-0,8} + 2,18 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto, éste coeficiente dependerá del caudal másico que lleve el agua a través de la tubería del serpentín.

Al ser  $U_s$  función del caudal másico,  $w$ , y no conocer el valor del mismo, se realizará una primera aproximación de acuerdo con los datos de la bibliografía. En el caso de un serpentín inmerso en agua en el interior del cual circula agua de refrigeración (situación que puede admitirse similar a la del fermentador), el valor de  $U_s$  en sistemas

agitados oscila entre 500-2000 W/m<sup>2</sup>·K, o lo que es lo mismo, entre 430-1720,1 kcal/h·m<sup>2</sup>·°C.

En el cálculo se considerará la situación más desfavorable, es decir, el valor más pequeño recogido en la bibliografía ( $U_s = 500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} = 430 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ).

Una vez resuelto el cálculo del serpentín puede determinarse  $h_{si}$  y también el valor mínimo para el coeficiente en el seno del líquido del fermentador,  $h_{se}$ .

#### 4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DEL FERMENTADOR $U_F$

Como el fermentador tiene forma cilíndrica se tomará la misma expresión anterior para calcularlo, pero ahora estará en función de los diámetros del fermentador:

$$\frac{1}{U_F} = \frac{1}{h_{Fi}} + \frac{1}{2} \frac{e_c \cdot A_{interior}}{k \cdot A_{ml}} + \frac{A_{interior}}{h_{Fe} \cdot A_{exterior}}$$

siendo:

$h_{Fi}$ : coeficiente de convección en el interior del fermentador.

$e_c$ : espesor de la pared del fermentador.

$k$ : conductividad térmica de la pared del fermentador, 15,07 kcal/h·m·K.

$h_{Fe}$ : coeficiente de convección en el aire exterior al fermentador.

$A_{interior}$ : área interior del fermentador, 18326,1 m<sup>2</sup>.

$A_{ml}$ : área media logarítmica, 10,52.

$A_{exterior}$ : área exterior del fermentador, 18591,9 m<sup>2</sup>.

##### 4.1. Cálculo de $h_{Fi}$ .

Obviamente el valor de  $h_{Fi}$  será el mismo que el  $h_{se}$  del apartado anterior, por lo que se toma el mismo dato:

$$h_{Fi} = 573,39 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} = 493 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

#### 4.2. Cálculo de $h_{Fe}$ .

Para el cálculo del coeficiente de convección externo al fermentador se considerará que se trata de convección libre, ya que ahora el exterior será el ambiente, es decir, la pared del fermentador está en contacto con el aire y no se dará entonces una convección forzada, sino natural. Así pues, se usarán ecuaciones empíricas y nuevos números adimensionales para hacer el cálculo del coeficiente de transmisión en la película.

Al ser el fermentador de forma cilíndrica se usará la siguiente expresión:

$$Nu = C \cdot Ra^n$$

Los valores de C y n son función del número de Rayleigh:

	Nº de Rayleigh	C	n
<b>Placas y cilindros verticales</b>	$< 10^4$	1,36	1/5
	$10^4 - 10^9$	0,55	1/4
	$> 10^9$	0,10	1/3

Tabla 34. Parámetros adimensionales para el cálculo del diseño del serpentín.<sup>11</sup>

Los números adimensionales que aparecerán en estos cálculos son el número adimensional de Grashof y el de Rayleigh:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_p - T_a) \cdot \rho^2}{\mu^2}$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot (T_p - T_a) \cdot \rho^2}{\mu^2} \left( \frac{\mu \cdot C_p}{k} \right)$$

Las variables de las que dependen estos números adimensionales se definen como:

g: aceleración de la gravedad, 9,81 m/s<sup>2</sup>.

$\beta$ : coeficiente de expansión volumétrica que, considerando el aire como gas ideal, es:

<sup>11</sup> Tabla tomada del libro "Flujo de fluidos e intercambio de calor" O. Levenspiel, 1993.



$$\beta = \frac{1}{T_a(K)} = \frac{1}{20 + 273} = 3,41 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

L: altura total del fermentador (sin contar las patas de apoyo), 1,581 m.

$T_p$ : temperatura de la pared del fermentador que, puesto que la resistencia de la pared del fermentador debe ser muy pequeña en comparación con las otras dos, puede aproximarse a la temperatura del fermentador,  $T_p = T_F = 31^\circ C$ .

$T_a$ : temperatura ambiente,  $20^\circ C$

$\rho$ : densidad del aire a  $20^\circ C$ ,  $1,205 \text{ kg/m}^3$ . Se toma una temperatura media del aire de  $20^\circ C$ .

$\mu$ : viscosidad del aire a  $20^\circ C$ ,  $18,5 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ .

$C_p$ : calor específico del aire,  $0,24 \text{ kcal/kg}\cdot^\circ C$ .

$k$ : conductividad térmica del aire a  $20^\circ C$ ,  $0,02624 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  ( $0,0221 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ C$ )

Entonces, para obtener el número de Nusselt se debe calcular el número adimensional de Ra primero para determinar C y n.

$$Gr = \frac{9,81 \left( \frac{m}{s} \right) \cdot 3,41 \cdot 10^{-3} (K^{-1}) \cdot 1,581^3 (m^3) \cdot 11 (^\circ K) \cdot 1,201^2 \left( \frac{kg}{m^3} \right)^2}{(18,50 \cdot 10^{-5})^2 \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)^2} = 6,1285 \cdot 10^7$$

$$Pr = \frac{0,24 \times 1,85 \cdot 10^{-5}}{0,0221 \times \frac{1h}{3600s}} = 0,723$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 6,1285 \cdot 10^7 \times 0,723 \Rightarrow Ra = 4,4309 \cdot 10^7$$

Entonces, la expresión más adecuada, según la Tabla 1 es:

$$Nu = \frac{h_{fe} \cdot D_o}{k_{ave}} = 0,55 \cdot Ra^{1/4}$$

Pero hay que comprobar que se puede aplicar la expresión anterior y en el caso de superficies de cilindros verticales con relación diámetro a radio se emplea la siguiente expresión:

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr^{0,25}}$$

$$\frac{D}{L} = \frac{0,957}{1,581} = 0,6053$$

$$\frac{35}{Gr^{0,25}} = \frac{35}{(6,1285 \cdot 10^7)^{0,25}} = 0,3956$$

$0,6053 \geq 0,3956$  se comprueba, por lo tanto, que se puede aplicar la expresión anterior con los coeficientes  $C = 0,55$  y  $n = 1/4$  ya que el  $Ra$  se encuentra en dicho intervalo.

Despejando de la ecuación de Nusselt se obtiene:

$$h_{Fe} = 0,55 \cdot (4,4309 \cdot 10^7)^{1/4} \cdot \frac{0,02624}{0,957} = 1,04 \frac{kcal}{m^2 \cdot K}$$

### 4.3. Resultado de $U_F$ .

Al igual que antes, ya se puede calcular el valor de  $U_F$ , y éste no estará en función de ninguna variable.

$$\frac{1}{U_F} = \frac{1}{h_{Fi}} + \frac{1}{2} \frac{e_C \cdot A_{interior}}{k \cdot A_{ml}} + \frac{A_{interior}}{h_{Fe} \cdot A_{exterior}}$$

$$\frac{1}{U_F} = \frac{1}{493} + \frac{1}{2} \frac{0,005 \cdot 18326,1}{15,07 \cdot 10,52} + \frac{18326,1}{1,04 \cdot 18591,9}$$

$$U_F = 1,24 \frac{kcal}{m^2 \cdot K}$$

Este valor se ha calculado para una temperatura ambiente media de  $20^\circ C$ , pero distinta temperatura no afectará al valor de  $U_F$ , ya que las variaciones de este valor con la temperatura son mínimas.

Además comparando  $U_F$  con  $U_S$ , calculado en el apartado siguiente, se puede observar que  $U_F$  es mucho menor a  $U_S$ , y por tanto no afecta significativamente a los

cálculos. Esto significa, que es mucho mayor el calor que se retira con el agua del serpentín que el que se disipa a la atmósfera.

## 5. CÁLCULOS DE LOS GRADOS DE LIBERTAD Y SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO

Los grados de libertad de un sistema son el número de variables que se deben especificar antes de calcular las variables restantes.

Como se ha visto en este capítulo, para el diseño del serpentín se tienen tres ecuaciones o relaciones de diseño (dos del balance de energía y una más de la expresión del incremento de temperatura medio logarítmico del agua de refrigeración) y un total de doce variables.

### LISTA DE VARIABLES:

Nº	VARIABLE	OBSERVACIONES
1	$U_C$	Coefficiente global de transmisión de calor entre la masa del fermentador y el ambiente.
2	$U_S$	Coefficiente global de transmisión de calor entre el agua de refrigeración y la masa de fluido del fermentador.
3	A	Área del fermentador.
4	a	Área del serpentín.
5	$Q_g$	Cantidad de calor que producirá la reacción de fermentación.
6	w	Caudal de agua de refrigeración.
7	$C_p$	Calor específico del agua de refrigeración.
8	$T_F$	Temperatura de masa del fermentador.
9	$T_a$	Temperatura ambiente.
10	$T_E$	Temperatura de entrada del agua de refrigeración.
11	$T_S$	Temperatura de salida del agua de refrigeración.
12	$\Delta T_{ml}$	Incremento de temperatura medio logarítmico.

Tabla 35. Lista de variables.

## RELACIONES DE DISEÑO:

Nº	Relación de diseño
[1]	$Q_g = [U_F \cdot A \cdot (T_F - T_a)] + (U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml})$
[2]	$\Delta T_{ml} = \frac{T_{caliente,salida} - T_{cal,entrada} + T_{frio,entr.} - T_{frio.sal.}}{\ln \frac{T_{cal.,sal.} - T_{frio,sal}}{T_{cal,entr.} - T_{frio,entr.}}} = \frac{\Delta T_E - \Delta T_S}{\ln \frac{\Delta T_E}{\Delta T_S}}$
[3]	$U_S \cdot a \cdot \Delta T_{ml} = -w \cdot Cp \cdot (T_E - T_S)$

Tabla 106. Relaciones de diseño.

Por lo tanto, el número de grados de libertad del sistema es:

$$(\text{Grados de Libertad}) = (\text{Nº Variables}) - (\text{Nº Relaciones de Diseño}) = 12-3 = 9$$

El serpentín tendrá 9 grados de libertad totales si se considera aislado totalmente, pero algunos de ellos se consumirán al considerar las limitaciones del sistema, es decir, las variables que tienen un valor fijo. Éstas son:

$$U_F = 1,44 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (1,23 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C})$$

$$U_S = 500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (430 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C})$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} = \frac{\pi \times 0,947^2 \times 1,581}{4} = 1,114 \text{ m}^2$$

$$Q_g = 1526,25 \text{ W} \quad (1312,69 \text{ kcal/h})$$

$$Cp = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

$$T_F = 31^\circ \text{C}$$

$$T_a = 20^\circ \text{C}$$

$$T_E = 25^\circ \text{C}$$

Se tendrá, por tanto, un grado de libertad. Esto se traduce en una variable de diseño, siendo las tres variables que quedan variables de estado (aquellas que se calculan a partir de las ecuaciones del sistema y las variables de diseño).

Para elegir cual de las cuatro variables que quedan ( $a$ ,  $w$ ,  $T_S$ ,  $\Delta T_{ml}$ ) será la variable de diseño se usará el "Algoritmo de selección de variables de diseño".

Primero se construirá una tabla de doble entrada, con tantas columnas como variables haya, y tantas filas como ecuaciones de diseño haya. A continuación, se marcará con una “X” las variables que participan en cada ecuación:

		Variables											
		U <sub>C</sub>	U <sub>S</sub>	A	a	Q <sub>g</sub>	w	C <sub>p</sub>	T <sub>F</sub>	T <sub>a</sub>	T <sub>E</sub>	T <sub>S</sub>	ΔT <sub>ml</sub>
Relaciones de Diseño	[1]	X	X	X	X	X			X	X			X
	[2]								X		X	X	X
	[3]		X		X		X	X			X	X	X

El segundo paso es eliminar de la tabla las variables que tienen un valor fijo, quedando la tabla reducida y facilitando la elección de la variable de diseño.

		Variables			
		a	w	T <sub>S</sub>	ΔT <sub>ml</sub>
Relaciones de Diseño	[1]	X			X
	[2]			X	X
	[3]	X	X	X	X

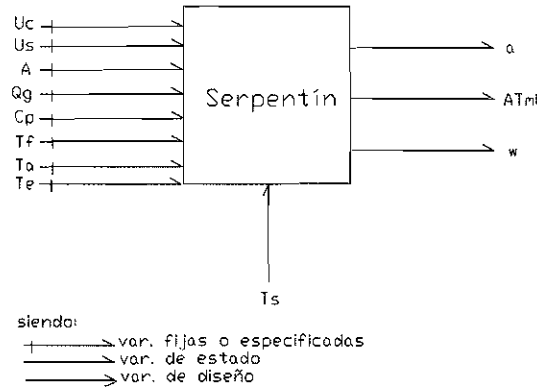
El tercer paso consiste en la aplicación del algoritmo en sí: se tachará la columna que contenga una sola “X” y la fila que corresponda a esa “X”, que en caso es “w”; y así sucesivamente hasta que solo quede la variable de diseño que se busca:

		Variables				
		a	w	T <sub>S</sub>	ΔT <sub>ml</sub>	
Relaciones de Diseño	[1]	X			X	2°
	[2]			X	X	1°
	[3]	X	X	X	X	3°

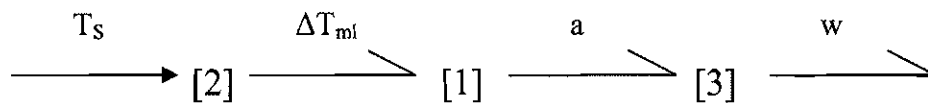
2°
1°
3°

Como se puede ver en la anterior tabla, la variable de diseño será  $T_s$ , al ser la columna que queda sin eliminar.

El diagrama de flujo de información del serpentín será el siguiente:



El orden de cálculo será el siguiente: Primero se le da un valor a la variable de diseño, es decir, a la temperatura de salida del agua de refrigeración, y con el valor de  $T_E$  y  $T_F$  se obtendrá  $\Delta T_{ml}$  usando la ecuación (3). A continuación, con el valor de  $\Delta T_{ml}$ , junto con el valor de  $U_C$ ,  $U_S$ ,  $A$ ,  $a$ ,  $Q_g$ ,  $T_F$  y  $T_a$ , se podrá determinar el valor del área del intercambio de calor, “a”, usando la ecuación (1). Y, por último, con la ecuación (2) se calculará el caudal de agua de refrigeración necesario.



Otra opción sería la de tachar primero la columna de “ $T_s$ ” en lugar de la columna de “a”, quedando así como variable de diseño el área de intercambio “a”.

		Variables				
		a	w	$T_s$	$\Delta T_{ml}$	
Relaciones de Diseño	[1]	X			X	3°
	[2]			X	X	1°
	[3]	X	X	X	X	2°
						1° 2° 3°

Sin embargo, esta opción no es la más adecuada ya que, al contrario de lo que ocurriría al tomar  $T_S$  como variable de diseño, no se tiene ningún dato de referencia de “a” del que poder partir.

## 6. CÁLCULO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SERPENTÍN

Una vez fijadas la temperatura de entrada del agua de refrigeración y la temperatura ambiente, se debe elegir la temperatura de salida del agua,  $T_S$ , que provoca una combinación del área del serpentín “a” y el caudal de agua de refrigeración “w” óptima.

Sin embargo, no se puede considerar que la temperatura de entrada de agua al serpentín sea constante ya que ésta variará a lo largo del año y, dependerá además de las condiciones climáticas de la zona donde se ubica el proyecto; concretamente las condiciones climáticas de la sierra de Cádiz.

Se aplicará el algoritmo de cálculo descrito en el apartado anterior para una temperatura de entrada de 25° C, puesto que será la temperatura máxima a la que se encuentre el agua de red en los meses más calurosos del año, y por tanto será la condición más desfavorable para el enfriamiento del sistema, ya que tendrá que suministrarse un mayor caudal de agua:

$T_E = 25^\circ \text{ C}$ , temperatura hidráulica máxima que se da en la zona (Julio y Agosto).

Por lo tanto, se tomarán varios valores para la temperatura de salida,  $T_S$ , y siguiendo el orden de cálculo se podrá determinar el área del serpentín y el caudal del agua de refrigeración necesarios. También se calculará la longitud del serpentín “l”, que da una idea más adecuada de las dimensiones del serpentín.

Dado que la sección de la tubería es circular, a partir del área se calculará fácilmente la longitud del serpentín:

$$l = \frac{a}{\pi \cdot D_0}$$

siendo:

l: longitud del serpentín (m).

a: área de intercambio del serpentín ( $m^2$ ).

$D_0$ : diámetro exterior del serpentín (m).

Como el serpentín es un tubo de acero inoxidable de diámetro nominal  $\frac{1}{2}$ "Schedule 10S, el diámetro exterior será:

$$D_0 = 21,3mm = 0,0213m$$

Al igual que el fermentador, el serpentín será de acero inoxidable, debido a las propiedades del fluido en que se sumerge.

Las medidas nominales del serpentín son:

$D_{NOM.}$ (in)	$D_0$ (m)	$D$ (m)	$t$ (mm)
$\frac{1}{2}$	0,0213	0,0171	2,11

Tabla 37. Medidas nominales del serpentín.

Una vez calculada la longitud del serpentín se puede determinar el número de vueltas, así como la altura de éste. Partiendo del área del serpentín y a partir de la siguiente expresión se podrá determinar el número de vueltas que debe tener la espiral:

$$n = \frac{a}{\pi^2 \cdot D_e \cdot D_0}$$

siendo:

n: número de vueltas.

$D_e$ : diámetro de la espiral, en nuestro caso:  $D_e = 0,747$  m.

$D_0$ : diámetro exterior del serpentín, 0,0213 m.

a: área del serpentín ( $m^2$ ).

Por otro lado, para calcular la altura de la estructura se usará la expresión:

$$h = 2 \cdot n \cdot D_0$$

Los resultados de los cálculos se muestran en la siguiente tabla:



$T_s$ (° C)	$\Delta T_{ml}$ (° C)	$a$ (m <sup>2</sup> )	$w$ (kg/h)	$l$ (m)	$n$	$h$ (m)
25,5	5,746	0,525	2595,135	7,848	3,344	0,142
26	5,485	0,550	1297,568	8,222	3,503	0,149
27	4,933	0,612	648,784	9,142	3,896	0,166
<b>28</b>	<b>4,328</b>	<b>0,697</b>	<b>432,523</b>	<b>10,419</b>	<b>4,440</b>	<b>0,189</b>
29	3,641	0,829	324,392	12,386	5,278	0,225
30	2,791	1,081	259,514	16,160	6,886	0,293

Tabla 38. Resultado del cálculo del área, caudal, longitud del serpentín, número de vueltas y altura.

Se elegirá como variable de diseño, para una temperatura de entrada  $T_E = 25^\circ \text{C}$ , una temperatura de salida del agua de refrigeración  $T_S = 28^\circ \text{C}$ , ya que es el valor que da una mejor relación caudal-número de vueltas. Este valor tendrá que ser corregido, en su caso, en el apartado siguiente, en el que se comprobará si el cálculo final de  $h_{Si}$  fue el adecuado.

El dimensionado del serpentín, para una  $T_E = 25^\circ \text{C}$  y  $T_S = 28^\circ \text{C}$ , será el siguiente:

Número de vueltas,  $n = 4,440$ , que al normalizar se toman 5 vueltas y se recalculan los demás datos:

Área del serpentín,  $a = 0,785 \text{ m}^2$ .

Longitud del serpentín,  $l = 11,731 \text{ m}$ .

Caudal del agua de refrigeración,  $w = 486,97 \text{ kg/h}$ .

El calor retirado del sistema será entonces:

$$Q = w \cdot Cp \cdot \Delta T = 486,97 \times 1 \times (28 - 25) = 1460,91 \text{ kcal/h}$$

Con esto se ve como el calor a retirar por el agua de refrigeración es prácticamente igual al calor que genera la fermentación ( $Q_g = 1312,63 \text{ kcal/h}$ ), comprobando así que la disipación a la atmósfera es insignificante.

## 7. CÁLCULO DEFINITIVO DE ALGUNOS PARÁMETROS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

### ➤ CÁLCULO DE $h_{Si}$

Como ya se conoce el caudal másico de agua de refrigeración, se puede calcular el coeficiente de transmisión de calor por convección en el interior del serpentín,  $h_{Si}$ . En el Apartado 3 "Cálculo de  $U_S$ " de este anexo se vio como el coeficiente  $h_{Si}$  dependía del caudal másico  $w$  según la siguiente expresión:

$$h_{Si, \text{corregido}} = 13111,37 \cdot w^{0,8} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \left( \frac{\text{s}}{\text{kg}} \right)^{0,8}$$

siendo  $w$  el caudal másico del agua de refrigeración en kg/s, calculado anteriormente, 433,215 kg/h (0,120 kg/s).

Por lo tanto,

$$h_{Si, \text{corregido}} = 13111,37 \times 0,120^{0,8} = 2404,32,8 \text{kcal} / \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

Por otra parte, se debe comprobar el valor del número de Reynolds para verificar así que la ecuación empleada en el cálculo del coeficiente de convección en el interior del serpentín fue la adecuada.

La expresión del número de Reynolds en función de la velocidad lineal del agua de refrigeración, deducida también en el apartado 3, es la siguiente:

$$\text{Re} = 17.910 \times v(\text{m} / \text{s})$$

Se usará la ecuación de continuidad para calcular la velocidad:

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{w}{\rho \cdot S} = \frac{4 \cdot w}{\rho \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4 \times 0,120}{995 \times \pi \times 0,0171^2} = 0,525 \text{m} / \text{s}$$

Una vez calculada la velocidad lineal del agua de refrigeración se puede conocer el valor del número de Reynolds:

$$\text{Re} = 17.910 \times 0,525 = 9402,8$$

Dado que las condiciones de aplicabilidad de la ecuación de Dittus-Boelter, que es la que usó en el cálculo de  $h_{Si}$ , son:

$$\begin{aligned} Re &> 10.000 \\ 0,7 < Pr < 700 \end{aligned}$$

Se tomará entonces como temperatura de salida 27° C con un caudal de agua correspondiente de 649,822 kg/h, para el que sí es válida ésta ecuación anteriormente utilizada.

Para dicho valor del caudal másico se obtiene un coeficiente:

$$h_{Si, \text{ corregido}} = 3325,57 \text{ kcal} / \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

➤ CÁLCULO DE  $h_{Se}$  y  $h_{Fi}$ .

En el apartado 3 de este anexo, cuando se calculó  $h_{Se}$ , al ser bastante compleja la estimación del coeficiente de convección en la masa del fermentador, se usó un valor encontrado en la bibliografía ( $h_{Se} = 493 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$ ). Pero ahora es posible determinar su valor despejándolo en la siguiente ecuación, ya que se conoce el valor de los otros términos:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_S} &= \frac{1}{h_{Si} \left( \frac{D_{Ti}}{D_{T0}} \right)} + \frac{1}{2} \frac{D_{T0}}{k_{\text{serpentin}}} \ln \left( \frac{D_{T0}}{D_{Ti}} \right) + \frac{1}{h_{Se}} \\ \Rightarrow \frac{1}{h_{Se}} &= \frac{1}{U_S} - \frac{1}{h_{Si} \left( \frac{D_{Ti}}{D_{T0}} \right)} - \frac{1}{2} \frac{D_{T0}}{k_{\text{serpentin}}} \ln \frac{D_{T0}}{D_{Ti}} = \frac{1}{430} - \frac{1}{3325,57 \times \frac{17,1}{21,3}} - 1,55 \cdot 10^{-4} \\ \frac{1}{h_{Se}} &= 1,796 \cdot 10^{-3} \Rightarrow h_{Se} = h_{Fi} = 556,79 \text{ kcal} / \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C} \end{aligned}$$

Este valor es similar al encontrado en la bibliografía, por lo que se da por bueno el valor de  $h_{Se} = 493 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$  que se tomó en un principio.

Si se toma este nuevo valor de  $h_{Fi}$  y de  $h_{Se}$  para recalcular los coeficientes de transmisión  $U_F$  y  $U_S$  respectivamente, se obtiene el mismo resultado de  $U_F$  que al usar  $h_{Ci} = 493 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$ , sin embargo, al recalcular  $U_S$  se obtiene un valor mayor ( $U_S =$

429,997 kcal/h·m<sup>2</sup>·° C en lugar de  $U_S = 382,1$  kcal/h·m<sup>2</sup>·° C). Todo esto es debido a que en el caso de  $U_F$  la etapa limitante es la resistencia ofrecida por las paredes del fermentador mientras que para el coeficiente  $U_S$ , la etapa limitante es la transmisión de calor en el seno del medio fermentativo.

### **ANEXO III.4 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL DEPÓSITO DE AGUA**

Para favorecer la mezcla de agua y miel se decidió que tanto la miel, debido a que se disminuía su viscosidad, como el agua se calentarían antes de introducirse en el fermentador y mezclarse. La temperatura a la que se calienta el agua, 35° C, no es demasiado alta, pero sí es una masa de fluido mayor que la miel; por esta razón se ha elegido un serpentín para el sistema, por donde circulará agua caliente que se suministrará con un termo eléctrico.

Se contempló la idea del aprovechamiento de las energías renovables mediante una instalación de placas solares y que pudiese abastecer todos los requisitos de la planta, pero después de consultar con especialistas de la materia, se optó por un termo convencional, puesto que la temperatura es adecuada para ello y sobretodo porque no se necesita un suministro continuo de agua caliente, si no sólo durante varias horas en cada ciclo. Así pues no es rentable la instalación de placas solares en este proceso.

Las dimensiones del serpentín para este depósito serán las mismas que las dimensiones del serpentín del fermentador acético, puesto que ambos depósitos tienen la misma capacidad y están diseñados con el mismo material.

Dichas dimensiones son:

Número de vueltas,  $n = 5$  vueltas.

Área del serpentín,  $a = 0,612 \text{ m}^2$ .

Longitud del serpentín,  $l = 10,419 \text{ m}$ .

Caudal del agua de refrigeración,  $w = 432,523 \text{ kg/h}$ .

## **ANEXO IV. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE CONDUCCIONES Y EQUIPOS PARA LA IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS**

Para realizar el diseño de tuberías hay que tener en cuenta que éste incluye el diseño de las conducciones, en lo que se refiere a sus dimensiones, el cálculo de las pérdidas de carga para poder posteriormente calcular la potencia de las bombas, y dentro de éste último hay que tener en cuenta los accesorios que se van a instalar además de las tuberías.

### **1. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS**

La sección del Código aplicable en la mayoría de las plantas de proceso es ANSI B31.3.-1984, "*Tuberías de Refinerías de Petróleo y Plantas Químicas*".

Los siguientes datos y cálculos han sido adaptados de dicha Sección, pues es la más utilizada.

Los elementos que definen una tubería desde el punto de vista mecánico son:

- Presión y temperatura de proyecto o diseño.
- Diámetro nominal.
- Espesor de pared.
- Material de construcción.
- Corrosión admisible.
- Método de fabricación.

#### **a) Presión de diseño**

Se tomará como presión de diseño de las distintas conducciones la presión de diseño del equipo al que va conectada cada línea. Como para todos los equipos del presente proyecto ésta presión es de  $3,5 \text{ kg/cm}^2$ , todas las conducciones tendrán esa presión de diseño, salvo la del serpentín, que será la presión de trabajo de la red de

abastecimiento de agua local. Ésta es función de la zona, concretamente en el presente proyecto es de  $4 \text{ kg/cm}^2$ .

### b) Temperatura de diseño

La temperatura de diseño es la temperatura del material correspondiente a la más severa condición de presión y temperatura coincidentes durante la operación normal.

Como por las conducciones de éste proyecto circulan fluidos con una temperatura inferior a  $38^\circ\text{C}$  ( $100 \text{ F}$ ), como temperatura del material se tomará la temperatura del fluido.

A continuación se facilita una tabla en la cual aparecen enumeradas cada una de las conducciones que se diseñarán en este capítulo, con el servicio que realizan y la temperatura del fluido que circula por ellas en el caso más desfavorable.

Línea	Desde	Hasta	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )
L1	Depósito de miel	Pre calentador	$15^\circ \text{C}$
L2	Pre calentador de miel	Fermentador alcohólico	$28^\circ \text{C}$
L3	Depósito de agua	Fermentador alcohólico	$25^\circ \text{C}$
L4	Fermentador alcohólico	Decantador	$25^\circ \text{C}$
L5	Decantador	Depósito de Hidromiel	$20^\circ \text{C}$
L6	Depósito de Hidromiel	Fermentador Acético	$20^\circ \text{C}$
L7	Fermentador Acético	Mezclador	$31^\circ \text{C}$
L8	Mezclador	Sistema Microfiltración	$20^\circ \text{C}$
L9	Pre calentador	Mezclador	$28^\circ \text{C}$

Tabla 39. Conducciones de la planta y temperatura del fluido que circula por ellas.

### c) Material de construcción

A la hora de seleccionar el material de las conducciones hay que tener en cuenta qué fluido va a circular por ellas, que en el presente proyecto será miel, agua, hidromiel y vinagre de miel.

Las tuberías serán de acero inoxidable 304L para las conducciones de la nave de fermentación alcohólica, puesto que los fluidos que van a circular por ellas no van a ser excesivamente agresivos, y se empleará acero inoxidable 316L, dadas características corrosivas para las líneas de vinagre.

#### d) Cálculo del diámetro nominal

Para calcular el diámetro interior óptimo de la tubería se puede hacer uso de la expresión correspondiente a flujo turbulento ( $Re > 3500$ ) y tuberías de acero inoxidable.

$$D_{int.opt.} = 3,9 \cdot q_f^{0,45} \cdot \rho^{0,13}$$

siendo:

$D_{int.opt.}$ : diámetro interior óptimo de la tubería (pulgadas).

$q_f$ : caudal (ft<sup>3</sup>/s).

$\rho$ : densidad (lb/ft<sup>3</sup>).

Los datos de los distintos fluidos que circulan por las tuberías y los resultados de la expresión anterior se muestran en la siguiente tabla:

Línea	Fluido en la conducción	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (lb/ft <sup>3</sup> )	$q_f$ (m <sup>3</sup> /s)	$q_f$ (ft <sup>3</sup> /s)	$D_{int.opt.}$ (in)	$D_{int.opt.}$ (mm)
L1	Miel	1400	87,4	$4,17 \cdot 10^{-4}$	$1,47 \cdot 10^{-2}$	1,04	26,54
L2	Miel	1400	87,4	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$4,34 \cdot 10^{-3}$	0,60	15,32
L3	Agua	998,3	62,3	$5,42 \cdot 10^{-4}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$	1,13	28,58
L4	Hidromiel	990,0	61,8	$6,67 \cdot 10^{-4}$	$2,36 \cdot 10^{-2}$	1,23	31,34
L5	Hidromiel	990,0	61,8	$6,25 \cdot 10^{-4}$	$2,21 \cdot 10^{-2}$	1,20	30,44
L6	Hidromiel	990,0	61,8	$5,00 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-2}$	1,08	27,53
L7	Vinagre de miel	1000	62,4	$5,00 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-2}$	1,09	27,57
L8	Vinagre de miel	1000	62,4	$1,67 \cdot 10^{-4}$	$5,90 \cdot 10^{-3}$	0,66	16,83
L9	Miel	1400	87,4	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$4,34 \cdot 10^{-3}$	0,60	15,32

Tabla 40. Datos para el cálculo y diámetro óptimo de las conducciones.



El diámetro nominal se puede saber según la norma ANSI B36.19-1965 y BS 1600, para tuberías de acero inoxidable. Hay que tomar el diámetro nominal inmediatamente superior al diámetro calculado.

Después se calculará el espesor requerido por presión interna y deberá ser menor al espesor definido para el diámetro nominal para asegurar que la tubería resista las condiciones de trabajo. En el apartado siguiente se determinará que éste espesor corresponde a una cédula de 10S.

Línea	D <sub>int.opt.</sub> (mm)	D exterior normalizado (mm)	Tamaño nominal del tubo (pulg.)
L1	26,54	33,4	1
L2	15,32	21,3	1/2
L3	28,58	33,4	1
L4	31,34	33,4	1
L5	30,44	33,4	1
L6	27,53	33,4	1
L7	27,57	33,4	1
L8	16,83	21,3	1/2
L9	15,32	21,3	1/2

Tabla 41. Tamaño nominal de las conducciones.

En cuanto al serpentín, la elección de su diámetro se ha hecho atendiendo a requerimientos mecánicos y de transmisión de calor, siendo en este caso secundario la influencia de otros factores. En concreto, se trata de una tubería de acero inoxidable 316L, de diámetro nominal ½” como ya se vio en el Anexo III.4.-“Sistema de Refrigeración del Fermentador Acético”.

#### e) Cálculo del espesor mínimo de pared

Según el código ASME B31.3 para el cálculo del espesor mínimo de pared que debe poseer una conducción se usará la siguiente expresión, teniendo en cuenta el sobreespesor de corrosión y la tolerancia de fabricación:

$$t_m = M \cdot \left[ \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)} + c \right]$$

siendo:

$t_m$ : espesor mínimo de la tubería o accesorio en pulgadas, que se requiere por presión y como previsión para resistencia mecánica, corrosión y erosión incluyendo el 12,5% de tolerancia de fabricación.

P: presión interna de diseño (psi). Para las conducciones se usará la presión de diseño a las que van conectadas, por tanto será 3,5 kg/cm<sup>2</sup> (49,78 psi).

$D_0$ : diámetro exterior de la tubería (in).

S: tensión admisible del material a la temperatura de diseño (psi). Para el acero inoxidable AISI 304L es 13400 psi, y para el acero inoxidable 316L la tensión admisible es 13300 psi.

E: factor de eficiencia de la soldadura (en tuberías soldadas), o factor de calidad. Este valor viene indicado en la norma ANSI B31.3. Para tubos sin costura se toma  $E = 1$ .

$S \cdot E$ : máximo coeficiente de trabajo que el código permite para la tensión circunferencial producido por la presión interna.

Y: coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura. Los valores de este coeficiente vienen dados así mismos en la norma ANSI B31.3.

M: tolerancia de fabricación. Viene aportado por el fabricante (1,125 para el acero inoxidable).

c: tolerancia de corrosión admisible en pulgadas, más la profundidad del roscado en el caso de tuberías roscadas. Para el acero inoxidable AISI 316L tiene un valor de 1,5 mm (0,059 in).

Aplicando la expresión del espesor mínimo a las distintas conducciones se obtienen los siguientes resultados:

Línea	Tamaño nominal del tubo (pulg.)	D exterior normalizado (mm)	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (mm)	Cédula	Espesor cédula 10S (mm)
L1	1	33,4	0,066	1,68	10S	2,77
L2	1/2	21,3	0,066	1,68	10S	2,11
L3	1	33,4	0,066	1,68	10S	2,77
L4	1	33,4	0,066	1,68	10S	2,77
L5	1	33,4	0,066	1,68	10S	2,77
L6	1	33,4	0,066	1,68	10S	2,77
L7	1	33,4	0,066	1,68	10S	2,77
L8	1/2	21,3	0,066	1,68	10S	2,11
L9	1/2	21,3	0,066	1,68	10S	2,11

Tabla 112. Dimensiones calculadas para las tuberías.

La expresión anterior se utiliza siempre que se cumpla la expresión  $D/t \geq 4$ , y en todos los cálculos anteriores se cumple.

## 2. ESPECIFICACIÓN DE TUBERÍAS DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDRÁULICO. PÉRDIDAS DE CARGA.

Una vez determinado el diámetro de las conducciones es necesario comprobar que es el adecuado estudiando que la pérdida de carga que se producirá en el sistema.

La pérdida de carga depende de la velocidad del fluido, la disposición del tubo, su diámetro, la rugosidad de su superficie interior y las propiedades del líquido que circula por él.

Las pérdidas de carga en un sistema de tuberías debido al rozamiento se calculan:

$$\sum h_f = h_{f,tub.} + h_{f,acces.}$$

siendo:

$\sum h_f$  : la pérdida de carga por fricción total.

$h_{f,tub.}$  : la pérdida de carga por fricción debida a la tubería (pérdidas mayores).

$h_{f,acces.}$ : la pérdida de carga por fricción debida a los accesorios (pérdidas secundarias).

La pérdida de carga se puede determinar mediante la fórmula de D'Arcy-Weisbach o Ley de fricción, cuya expresión es:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} (m)$$

siendo:

$h_f$ : la pérdida de carga, en m de columna de líquido.

f: coeficiente de rozamiento, adimensional.

L: longitud total equivalente de la tubería, en m.

v: velocidad del fluido, en m/s.

$$Q = v \cdot S \rightarrow v = \frac{Q}{S} = Q \cdot \frac{4}{\pi \cdot D^2}$$

g: aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$ .

D: diámetro interior de la tubería, en m.

La longitud equivalente es la longitud de tubería recta que produciría la misma caída de presión que un accesorio si lo reemplazara por la tubería. Por lo tanto, en el término "L" quedan englobados no sólo la longitud de tubería sino la suma de longitud real y todas las longitudes equivalentes a accesorios. La longitud L corresponde entonces a la suma de longitud real de tubería recta  $L_t$  más la longitud equivalente de los accesorios  $L_e$ , cuya expresión matemática sería:

$$h = f \cdot \frac{L_t + L_e}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

El factor f o coeficiente de rozamiento se puede obtener de dos formas distintas; gráficamente a partir de la gráfica de Moody, conociendo el número de Reynolds y la rugosidad relativa ( $\epsilon/D$ ), o mediante ecuaciones empíricas a partir del número de Reynolds, y dependiendo del número de Reynolds se tendrá un tipo de régimen, laminar, turbulento o flujo de transición y se usará una expresión empírica distinta. La rugosidad del acero,  $\epsilon$ , es de 0,05 mm.

Otro método para evaluar la influencia de los accesorios en tuberías es por medio del “método de las cargas de velocidad”, empleando la siguiente fórmula:

$$h_{f,acces.} = k \cdot \frac{v^2}{g}$$

donde:

$h_{f,acces.}$ : pérdida de carga localizada, en m.c.a.

$k$ : coeficiente adimensional que depende del número de Reynolds y de parámetros asociados al tipo de accesorio a considerar. Al calcular dichas pérdidas, se pondrá el valor de  $k$  para cada accesorio.

$v$ : velocidad del fluido, en m/s.

$g$ : aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$ .

Las pérdidas de carga dependen principalmente de las características del fluido que circula a través de la tubería y de las de la propia tubería, así que como éste proceso tiene varias partes se continuará con la nomenclatura de las distintas líneas y se calcularán las pérdidas de carga en cada uno de ellas.

- Pérdidas de carga.

Como se comentó anteriormente, para cada línea de conducción la pérdida total de carga,  $h_f$ , se obtendrá como la suma de las pérdidas debido a la tubería más las debidas a los accesorios:

Línea	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	$h_{f,tub.}$ (m)	$h_{f,acces.}$ (m)	$h_f$ (m)
L1	30,63	0,566	0,14	0,19	0,33
L2	19,19	0,425	0,11	0,10	0,21
L3	30,63	0,711	0,14	0,28	0,42
L4	30,63	0,905	0,31	0,34	0,65
L5	30,63	0,848	0,20	0,30	0,50
L6	30,63	0,679	0,20	0,26	0,46
L7	30,63	0,679	0,20	0,26	0,46
L8	19,19	0,577	0,21	0,19	0,40
L9	19,19	0,425	0,22	0,10	0,32

Tabla 43. Pérdidas de carga para las distintas conducciones.

En los cambios de dirección se instalarán curvas de 90°, puesto que la pérdida de carga es menor para este tipo de accesorio que para los codos de radio corto, y para las válvulas se considera la posición más desfavorable donde se produce una mayor pérdida de carga.

### 3. CÁLCULO DE BOMBAS

#### ➤ Cálculo de la altura útil

La altura útil (H) es la energía neta que la bomba debe transmitir al fluido. Se calcula aplicando la Ecuación de Bernouilli entre los puntos de aspiración y descarga de la bomba:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + H = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_f$$

Genéricamente los puntos 1 y 2 pueden situarse en la superficie libre de aspiración y en la descarga.

La altura útil H, se obtendrá simplemente despejando:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \sum h_f$$

siendo:

$(z_2 - z_1)$ : diferencia de cotas entre los puntos considerados.

$\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}$ : diferencia de presiones entre descarga y aspiración.

$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g}$ : diferencia de velocidades entre descarga y aspiración.

$\sum h_f$ : pérdidas de carga totales exteriores a la bomba.

A continuación, se detalla el cálculo de la altura útil para una bomba concreta y dicho cálculo será aplicable a las demás. Se especifican a continuación los distintos valores que toman los términos de la ecuación para el cálculo de la altura útil de la bomba B1 (miel desde el depósito al precalentador).

- $P_1$ , presión en la superficie de aspiración. En la superficie del líquido en el depósito miel el valor de la presión rondará el de la presión atmosférica.  $P_1 = 101300 \text{ Pa}$  ( $3,5 \text{ kg/cm}^2$ ).
- $P_2$ , presión en el punto de descarga. También estará cercana a la presión atmosférica.  $P_2 = 101300 \text{ Pa}$ .  
Con lo que se anula el término de la diferencia de presiones.
- $z_1$ , cota de la superficie de aspiración. Se tomará la situación más desfavorable, esto es, que el depósito de miel esté prácticamente vacío, con lo cual  $z_1 = 1,5 \text{ m}$  (nivel mínimo).
- $z_2$ , cota del punto más elevado de la línea de impulsión, aproximadamente  $z_2 = 3,5 \text{ m}$ .
- $v_1$ , velocidad lineal en el punto de aspiración.  $v_1 = 1,79 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ .
- $v_2$ , velocidad lineal en la descarga,  $v_2 = 3,68 \text{ m/s}$ .
- $h_f$ , pérdida entre la carga y la descarga, calculada en el apartado anterior,  $h_f = 0,29 \text{ m}$ .

Con todos los datos, aplicando la expresión de la altura útil:

$$H = 2,98 \text{ m.}$$

Para todas las líneas de conducción se procede de la misma forma, por lo que se obvian los cálculos y se detallan en la siguiente tabla los resultados obtenidos:

<b>Bomba</b>	<b>Fluido que impulsa</b>	<b>Altura útil, H (m)</b>
<b>B1</b>	Miel	3,02
<b>B2</b>	Miel	3,34
<b>B3</b>	Agua	4,56
<b>B4</b>	Hidromiel	4,24
<b>B5</b>	Hidromiel	4,73
<b>B6</b>	Hidromiel	4,13
<b>B7</b>	Vinagre de miel	4,55
<b>B8</b>	Vinagre de miel	4,34
<b>B9</b>	Miel	3,34

**Tabla 44.** Altura útil y fluido que impulsa cada bomba.

### ➤ Cálculo de la potencia

La potencia útil,  $W$ , es la potencia neta que comunica la bomba al fluido, es decir, representa la potencia invertida en impulsar el caudal útil a la altura útil.

Se calcula mediante la expresión:

$$W = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

siendo:

$Q$ : caudal que suministra la bomba ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$\rho$ : densidad del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$g$ : aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).

$H$ : altura útil (m).

El cálculo de la potencia neta se presenta en la siguiente tabla para cada bomba:

Bomba	$Q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$H_{\text{útil}}$ (m)	$W$ (vatios)
<b>B1</b>	$4,17 \cdot 10^{-4}$	1400	3,02	17,30
<b>B2</b>	$1,23 \cdot 10^{-4}$	1400	3,34	5,64
<b>B3</b>	$5,42 \cdot 10^{-4}$	998,3	4,56	24,20
<b>B4</b>	$6,67 \cdot 10^{-4}$	990,0	4,24	27,47
<b>B5</b>	$6,25 \cdot 10^{-4}$	990,0	4,73	28,71
<b>B6</b>	$5,00 \cdot 10^{-4}$	990,0	4,13	20,06
<b>B7</b>	$5,00 \cdot 10^{-4}$	1000	4,55	22,32
<b>B8</b>	$1,67 \cdot 10^{-4}$	1000	4,34	7,11
<b>B9</b>	$1,23 \cdot 10^{-4}$	1400	3,34	5,64

Tabla 45. Cálculo de la potencia útil para las distintas bombas de la instalación.

La potencia de accionamiento o potencia en el eje de la bomba,  $W_a$ , se evalúa en función el rendimiento total de la bomba según la expresión:

$$W_a = \frac{W}{\eta_{\text{total}}}$$

Se considerará que el rendimiento está entorno al 50%.



Normalmente se recomienda que la potencia de accionamiento sea un 20-25% superior a la calculada, por lo que la potencia que se necesita que tenga cada bomba será:

Bomba	W (wattios)	$W_n$ (W)	$W_{necesaria}$ (W)
B1	17,30	34,59	43,24
B2	5,64	11,28	14,11
B3	24,20	48,41	60,51
B4	27,47	54,93	68,67
B5	28,71	57,42	71,78
B6	20,06	40,11	50,14
B7	22,32	44,64	55,79
B8	7,11	14,22	17,78
B9	5,64	11,28	14,11

Tabla 46. Potencia de accionamiento y potencia necesaria para cada bomba.

#### ➤ Características de las bombas de la instalación

A continuación se detallan distintos datos de cada bomba comercial elegida para las distintas conducciones de la instalación.

<b>Bomba</b>	<b><math>W_{necesaria}</math> (W)</b>	<b>Marca y Modelo</b>	<b>Potencia de la bomba comercial (kW)</b>
<b>B1</b>	43,24	Bomba de miel de paletas INOX. trifásica Apinorte	0,55
<b>B2</b>	14,11	Bomba de miel de paletas INOX. trifásica Apinorte	0,55
<b>B3</b>	60,51	Bomba centrífuga modelo YD-250-GV de World Chemical Co.	0,40
<b>B4</b>	68,67	Bomba centrífuga modelo YD-250-GV de World Chemical Co.	0,40
<b>B5</b>	71,78	Bomba centrífuga modelo YD-250-GV de World Chemical Co.	0,40
<b>B6</b>	50,14	Bomba centrífuga modelo YD-250-GV de World Chemical Co.	0,40
<b>B7</b>	55,79	Bomba centrífuga modelo YD-250-GV de World Chemical Co.	0,40
<b>B8</b>	17,78	Bomba centrífuga modelo YD-250-GV de World Chemical Co.	0,40
<b>B9</b>	14,11	Bomba de miel de paletas INOX. trifásica Apinorte	0,55

**Tabla 47. Marca, modelo y potencia de las bombas comerciales.**

Las bombas de la serie GV de World Chemical Co. son bombas auto aspirantes centrífugas de arrastre magnético, aptas para el trasvase de líquidos corrosivos.

#### 4. TUBULADURAS DE LAS CONDUCCIONES

Se entiende por tubuladuras aquellos orificios preparados para su conexión (brida, brida loca, rosca, etc.) a tuberías de llenado, ventilación, aspiración, etc.

En las conexiones con los distintos depósitos van a aparecer nuevas tensiones debidas a la dilatación térmica y el peso del líquido confinado en las tuberías. Por ésta razón es necesario el cálculo de éste valor.

Según ASME:

$$t_{\text{mínimo\_tubuladura}} = \frac{t_{\text{normalizado\_tuberías}}}{0,875} + c(\text{mm})$$

Los resultados obtenidos para los dos espesores distintos que tendrán las conducciones son los que se muestran en la siguiente tabla:

Espesor mínimo de las conducciones (mm)	$t_{\text{mínimo tubuladura}}$ (mm)
2,11	3,91
2,77	4,67

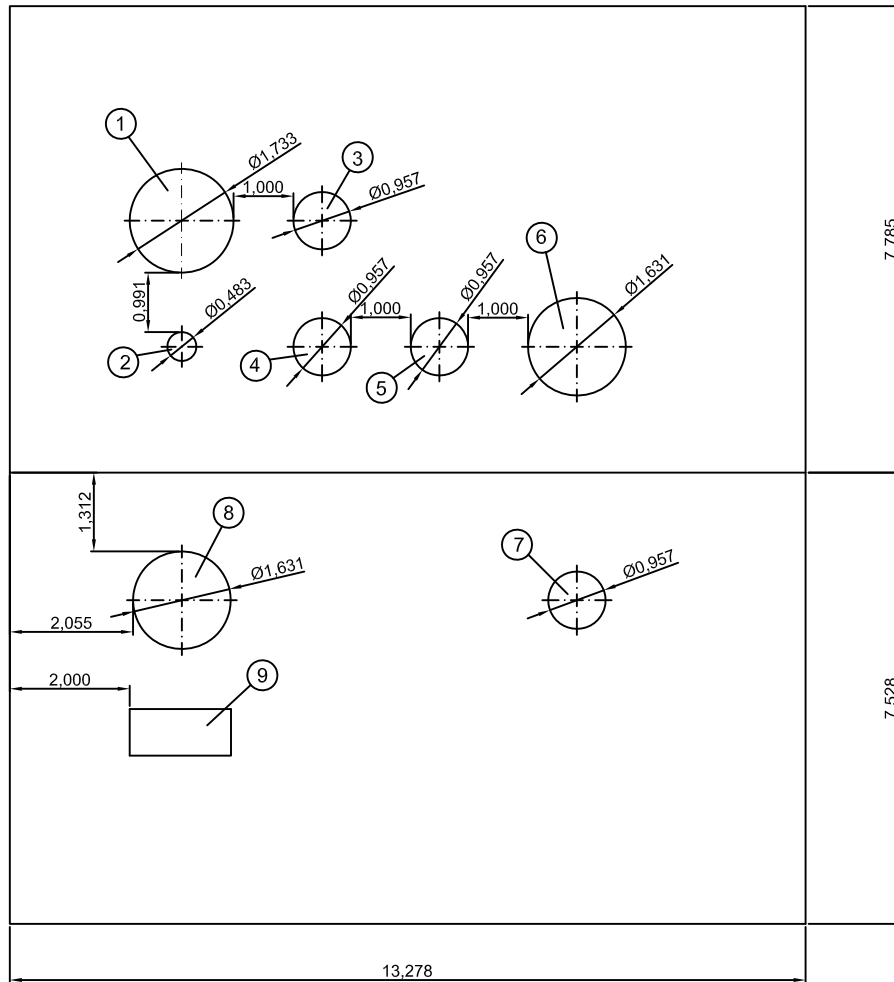
Tabla 48. Espesor mínimo de las tubuladuras.

Finalmente, el espesor de tubuladura será el mayor entre el mínimo calculado y el espesor de tubería cuando es incrementado en un 12,5%.

Por tanto, se tomará el espesor  $t_{\text{mínimo tubuladura}}$  calculado para los dos casos anteriores, puesto que superan el espesor de tubería incrementado en un 12,5%.

**DOCUMENTO N°2**

**PLANOS**

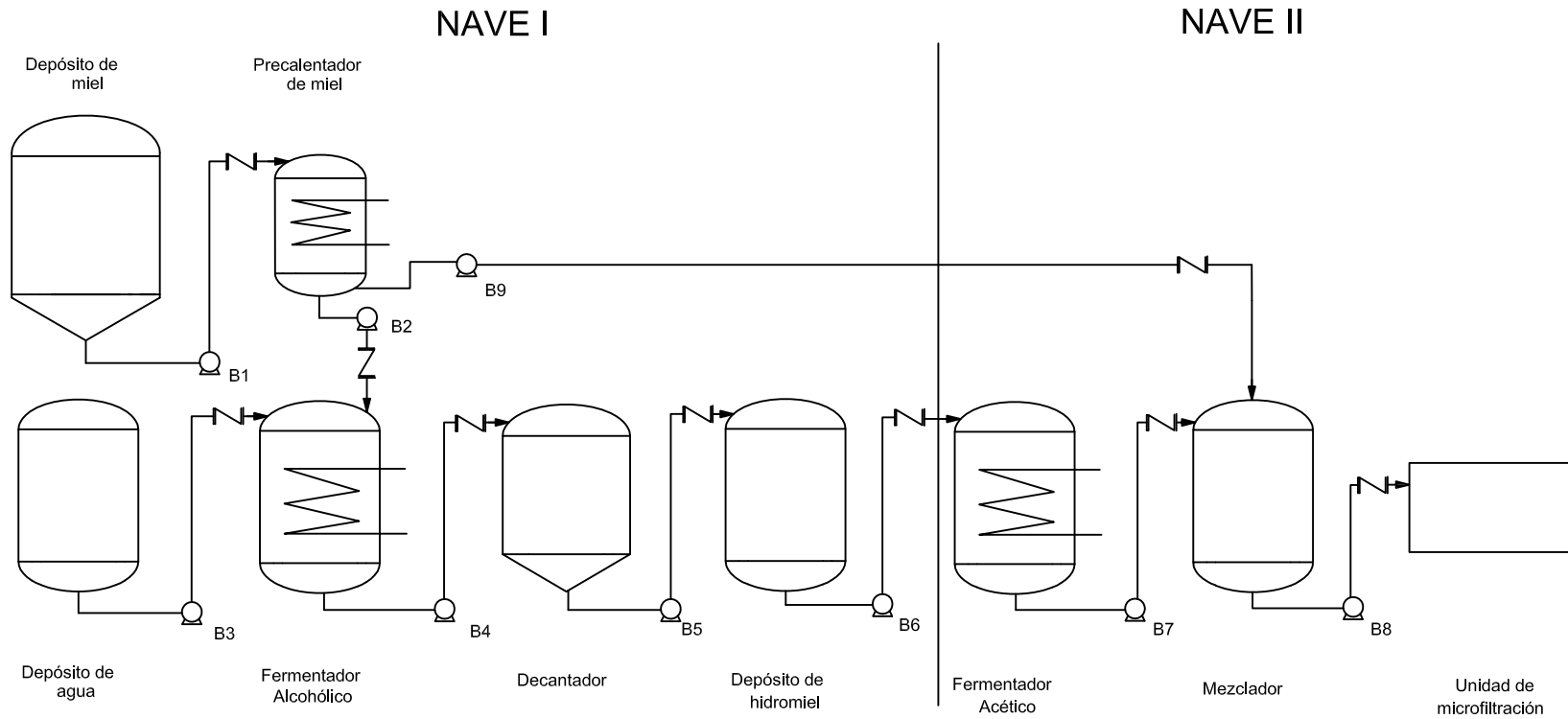


9	Equipo de microfiltración	1	
8	Mezclador	1	
7	Fermentador acético	1	
6	Depósito de hidromiel	1	
5	Decantador	1	
4	Fermentador alcohólico	1	
3	Depósito de agua	1	
2	Precalentador de miel	1	
1	Depósito de miel	1	



MARCA	DENOMINACION	N. P.	NOTA
-------	--------------	-------	------

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ
Dibujado	11-2007	M. Lopez	
Comprob.			

Escala	<b>DISTRIBUCIÓN EN PLANTA</b>	Plano nº <b>01</b>
1:100		Sustituye a:
		Sustituido por:



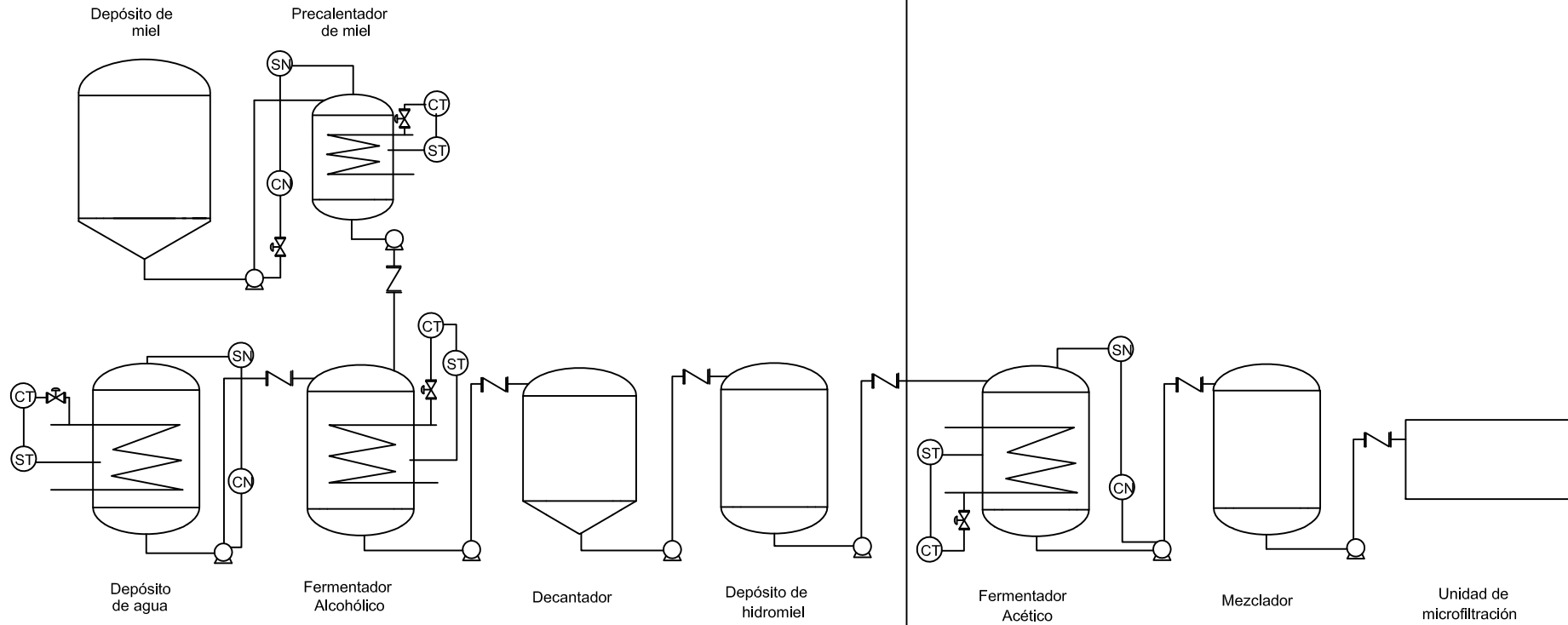
Leyenda

-  Válvula de retención
-  Bomba

	FECHA	NOMBRE		FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ
Dibujado	11-2007	M. Lopez		
Comprob.				
Escala	<b>DIAGRAMA DE FLUJO</b>			Plano nº <b>02</b>
1:100				Sustituye a:
				Sustituido por:

## NAVE I

## NAVE II

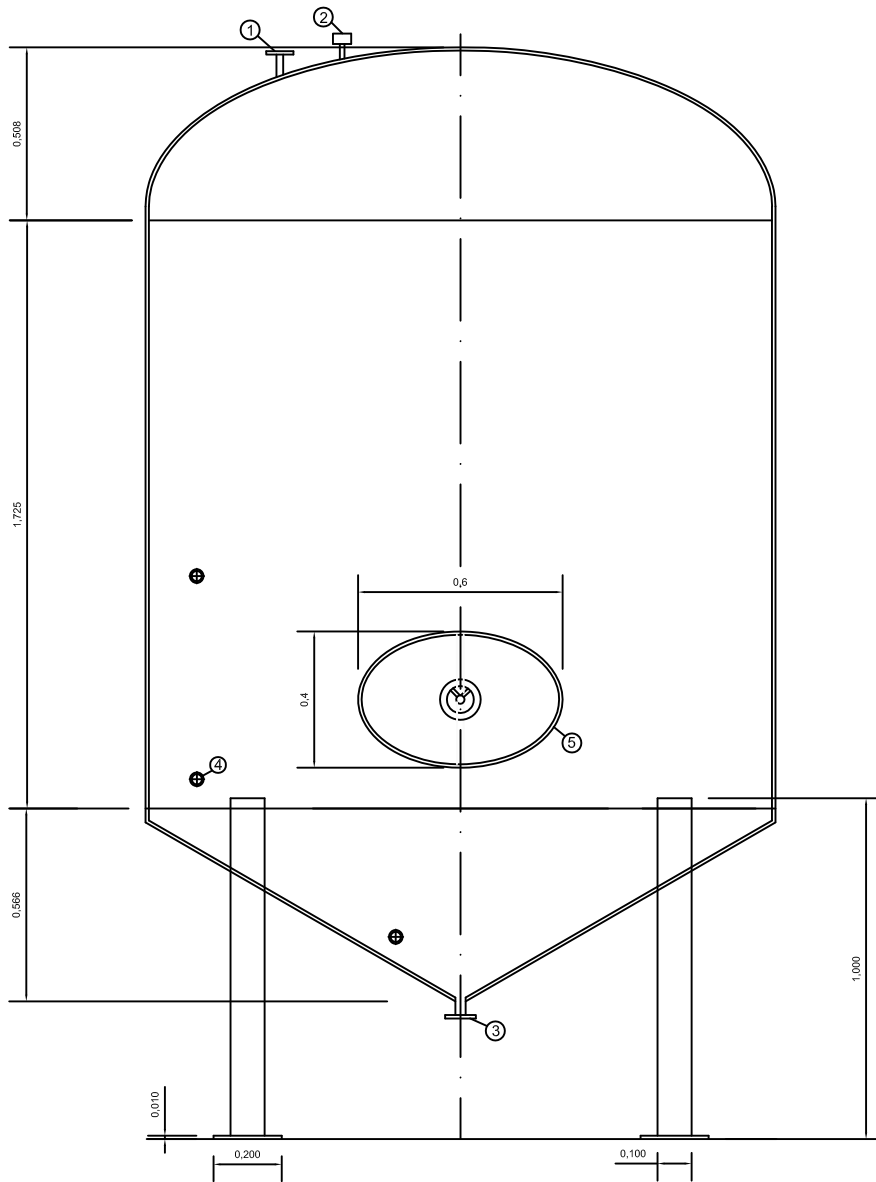


### Leyenda

- (CT) Controlador de temperatura
- (CN) Controlador de nivel
- (ST) Sensor de temperatura
- (SN) Sensor de nivel

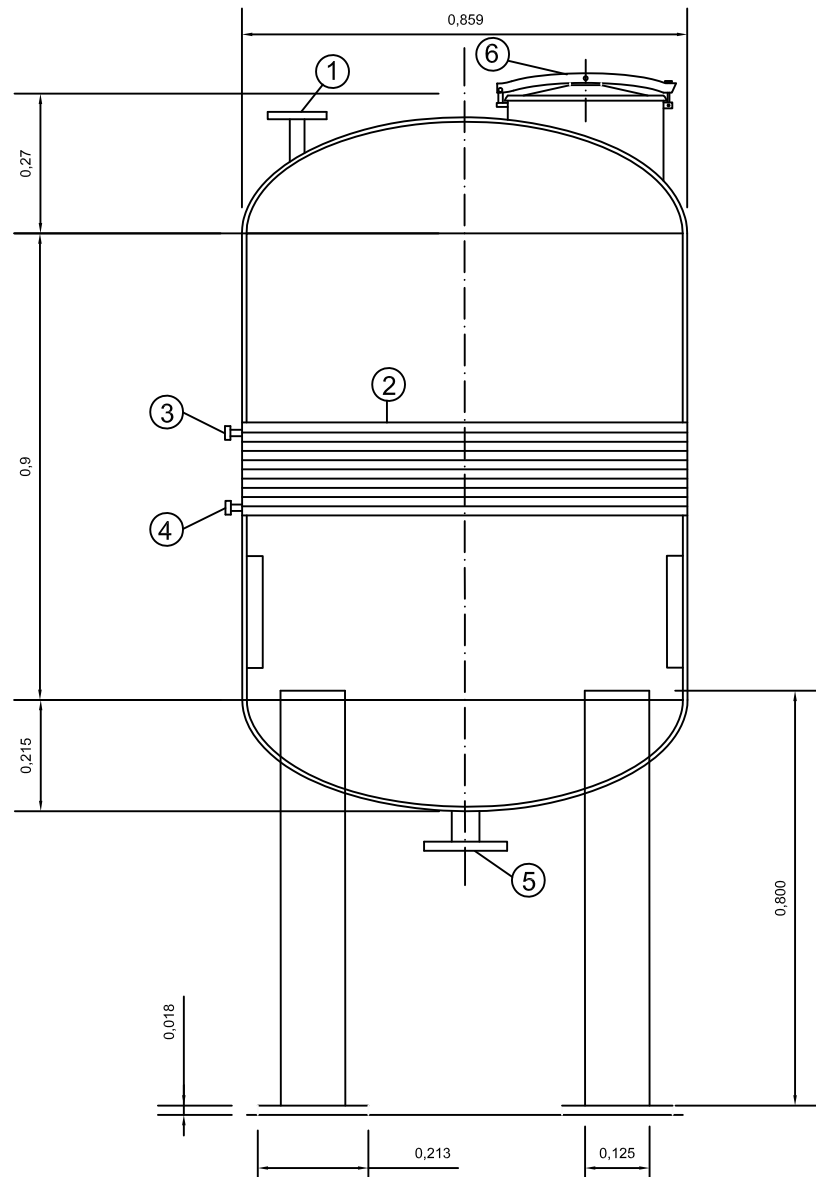
- ⊗ Válvula de control
- Z Válvula de retención
- ⊕ Bomba

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ	
Dibujado	11-2007	M. Lopez		
Comprob.				
Escala	1:100		Plano nº 03	
DIAGRAMA DE CONTROL			Sustituye a:	
			Sustituido por:	

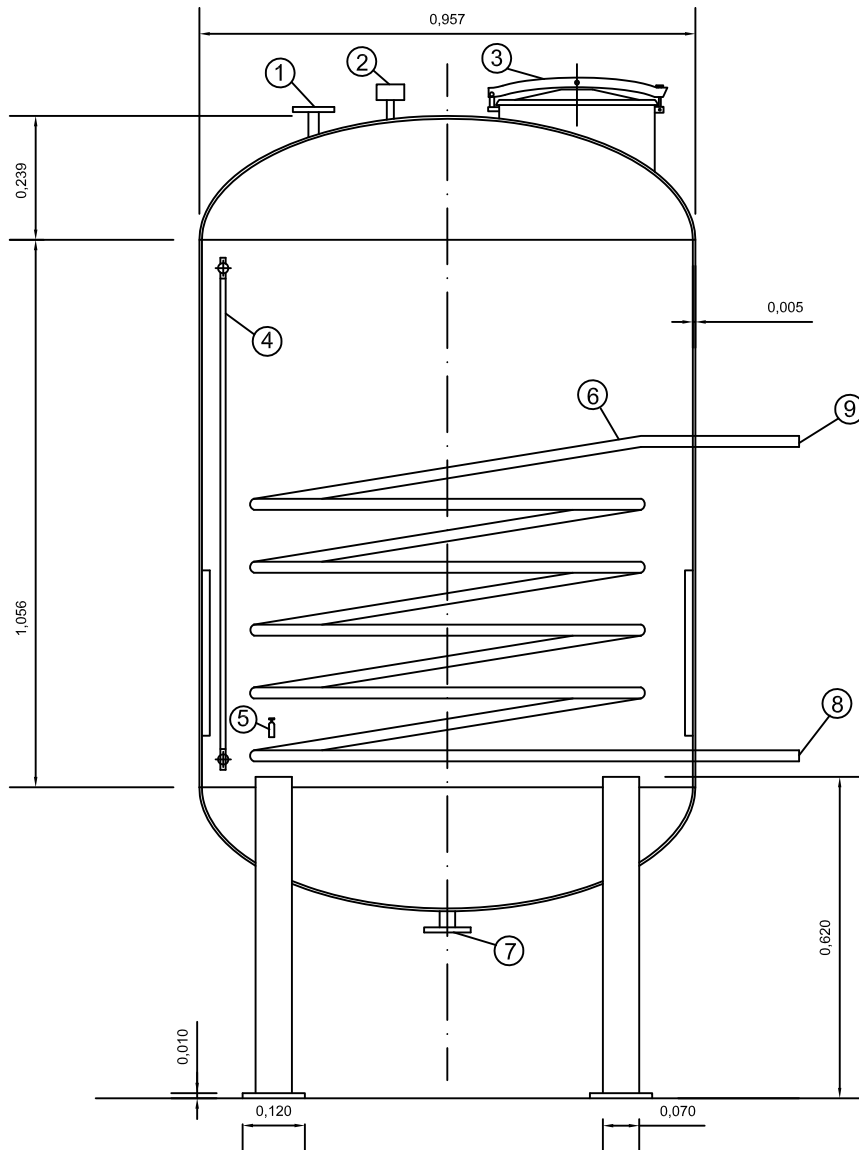


5	Boca de hombre	1	
4	Mirilla	3	
3	Conducción de descarga	1	
2	Válvula desaire	1	
1	Conducción de carga	1	
MARCA	DENOMINACION	N. P.	NOTA
	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ
Dibujado	11-2007	M. Lopez	
Comprob.			
Escala	DEPOSITO DE MIEL		Plano nº 04
1:20			Sustituye a:
			Sustituido por:





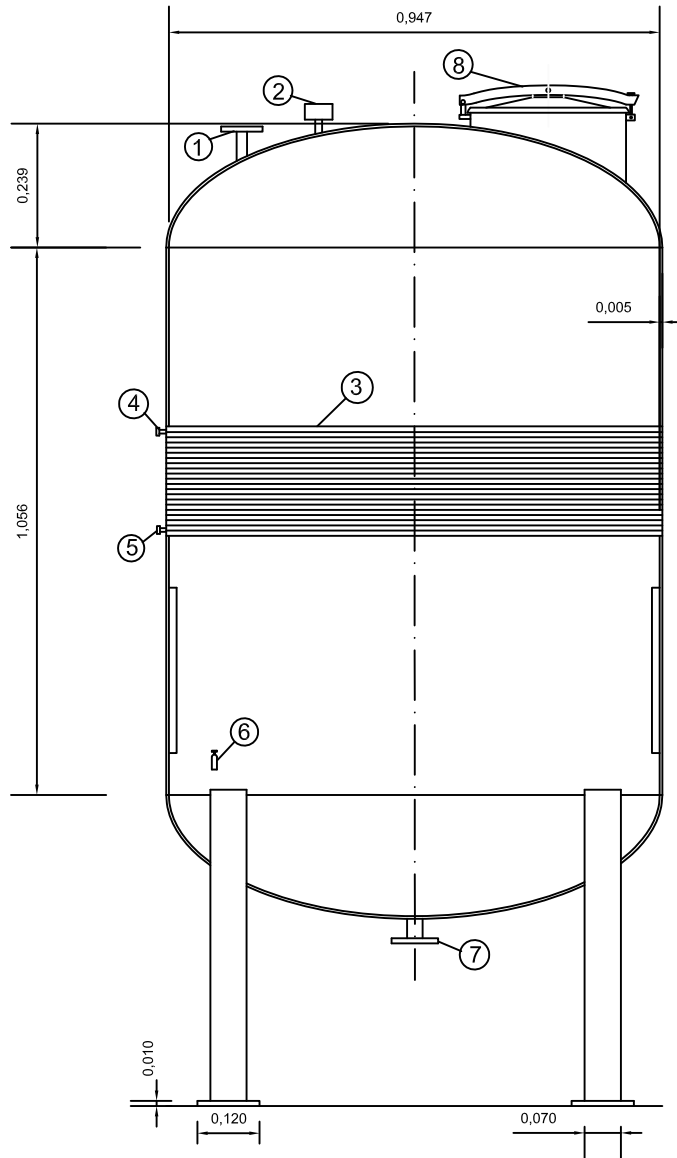
6	Boca de acceso superior	1	
5	Conducción de descarga	1	
4	Entrada de agua calefactora	1	
3	Salida de agua calefactora	1	
2	Camisa exterior	1	
1	Conducción de carga	1	
MARCA	DENOMINACION	N. P.	NOTA
	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ
Dibujado	11-2007	M. Lopez	
Comprob.			
Escala	<b>PRECALENTADOR DE MIEL</b>		Plano nº <b>05</b>
<b>1:20</b>			Sustituye a:
			Sustituido por:



9	Salida agua de calefacción	1	
8	Entrada agua de calefacción	1	
7	Conducción de descarga	1	
6	Serpentín	1	
5	Grifo sacamuestra	1	
4	Medidor de nivel	1	
3	Boca superior	1	
2	Válvula desaire	1	
1	Conducción de carga	1	
MARCA	DENOMINACION	N. P.	NOTA

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ
Dibujado	11-2007	M. Lopez	
Comprob.			

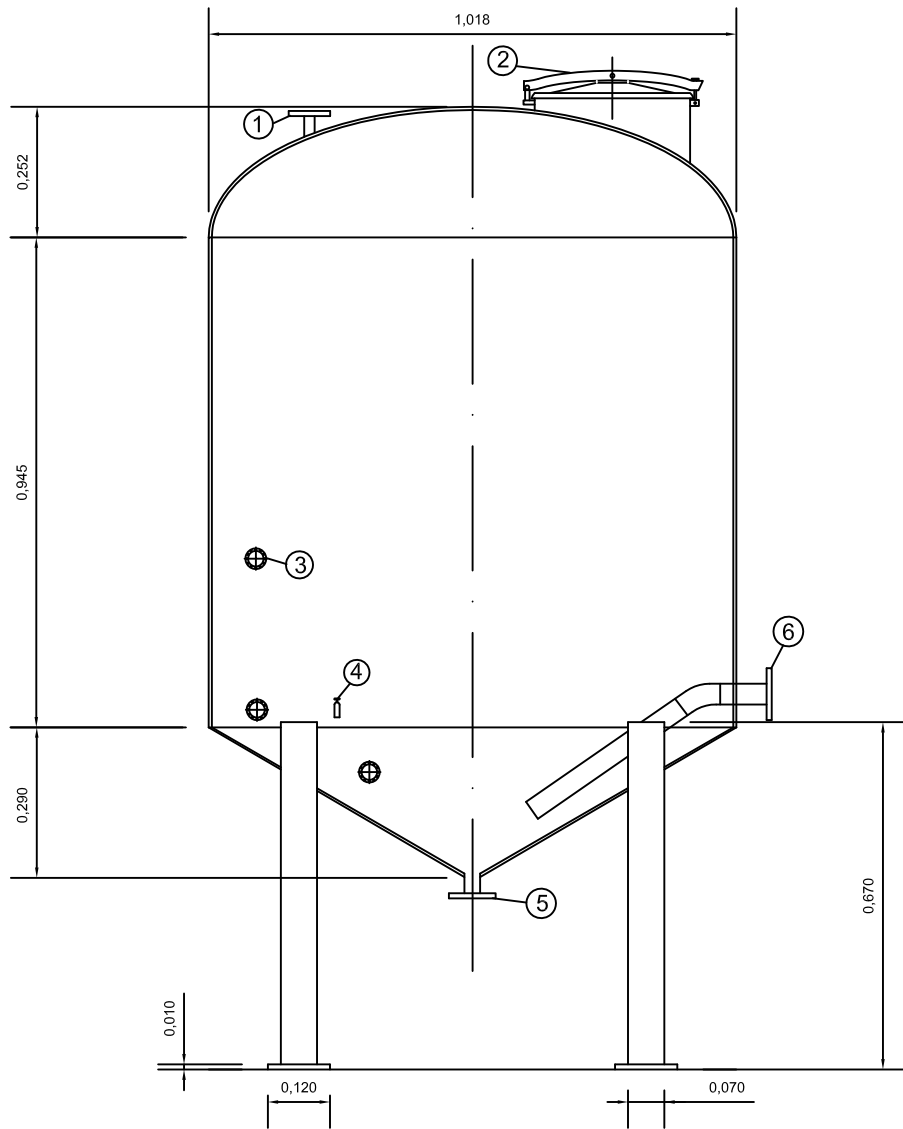
Escala	<b>DEPOSITO DE AGUA</b>	Plano nº <b>06</b>
<b>1:20</b>		Sustituye a:
		Sustituido por:



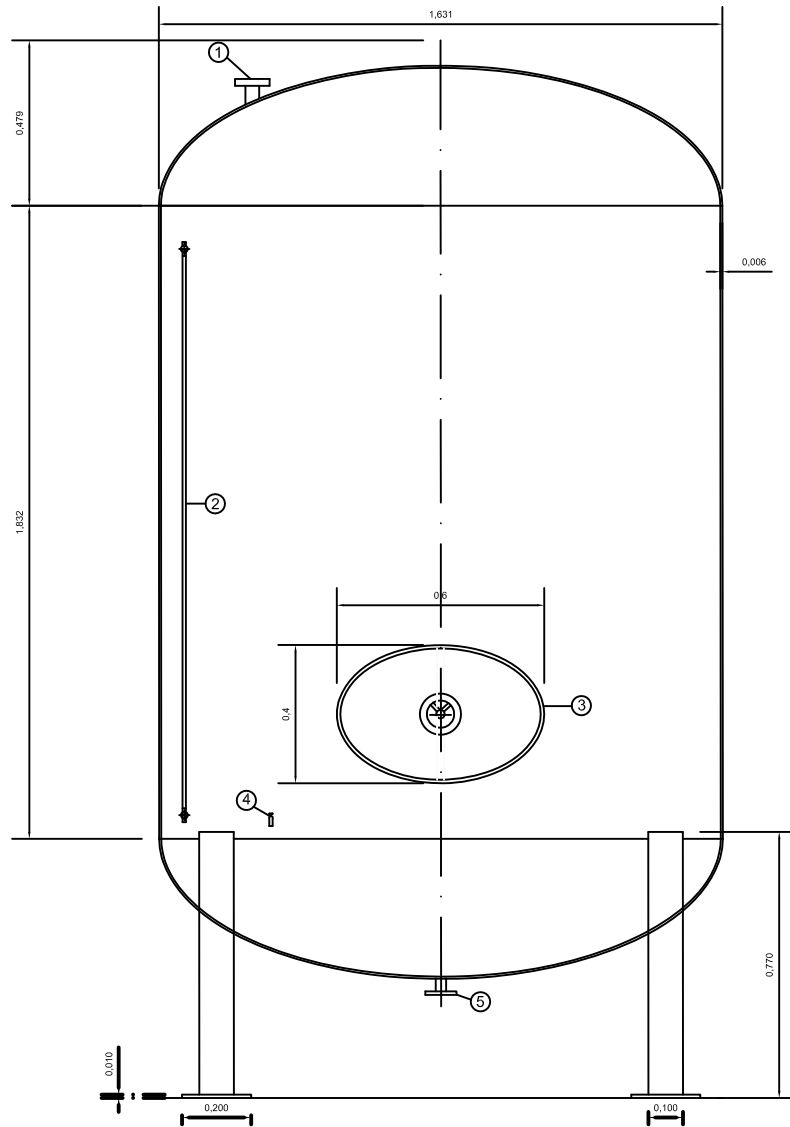
8	Boca de acceso superior	1	
7	Conducción de descarga	1	
6	Grifo sacamuestras	1	
5	Entrada de agua a la camisa	1	
4	Salida de agua a la camisa	1	
3	Camisa exterior	1	
2	Válvula desaire	1	
1	Conducción de carga	1	
MARCA	DENOMINACION	N. P.	NOTA

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ	
Dibujado	11-2007	M. Lopez		
Comprob.				

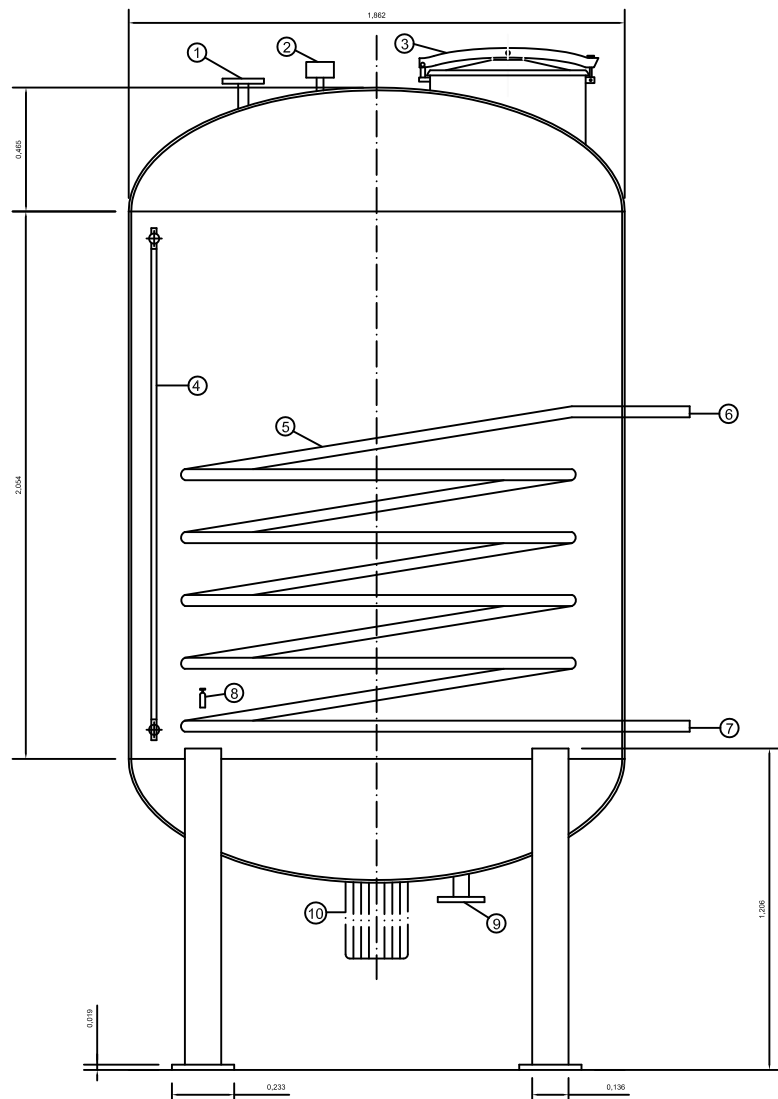
Escala	<b>FERMENTADOR ALCOHÓLICO</b>	Plano nº <b>07</b>
<b>1:20</b>		Sustituye a:
		Sustituido por:



6	Conducción descarga hidromiel	1	
5	Conducción descarga lías	1	
4	Grifo sacamuestras	1	
3	Mirilla	3	
2	Boca de acceso superior	1	
1	Conducción de carga	1	
MARCA	DENOMINACION	N. P.	NOTA
	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ
Dibujado	11-2007	M. Lopez	
Comprob.			
Escala	DECANTADOR		Plano nº <b>08</b>
1:20			Sustituye a:
			Sustituido por:



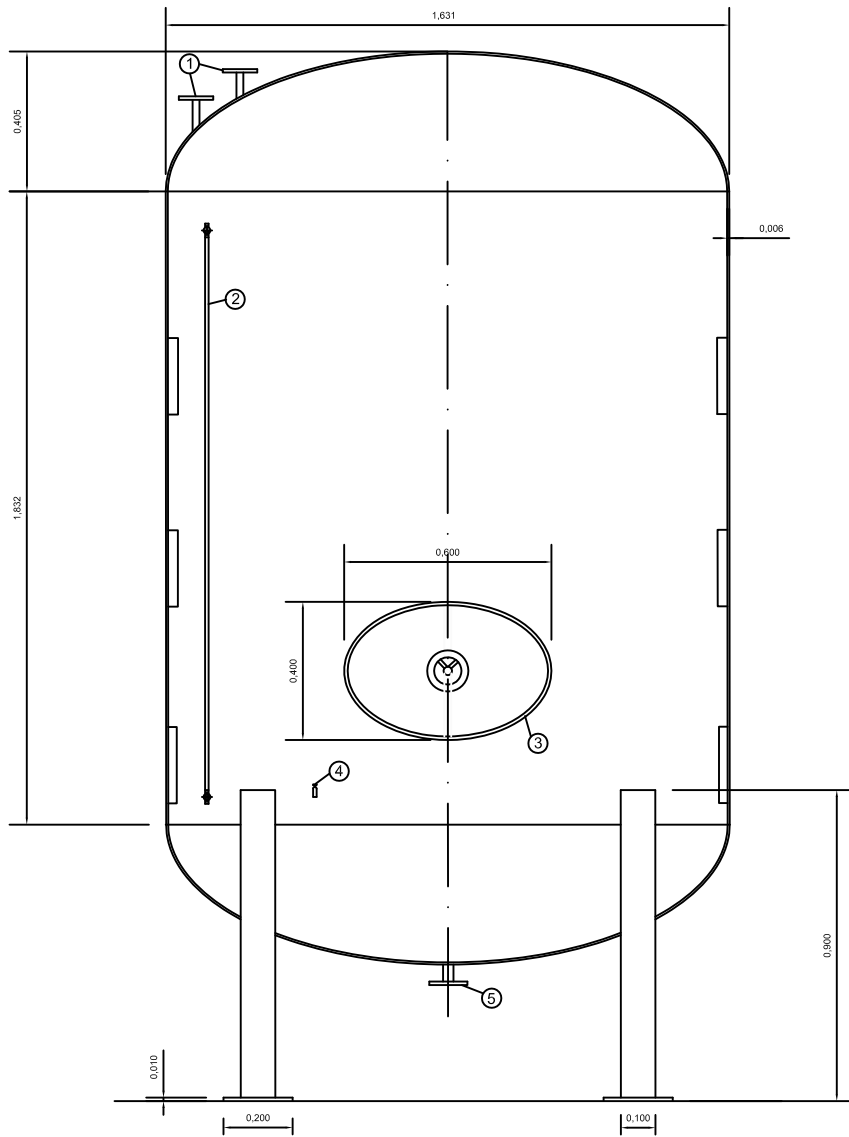
5	Conducción de descarga	1	
4	Grifo sacamuestras	1	
3	Boca de hombre	1	
2	Medidor de nivel	1	
1	Conducción de carga	1	
MARCA	DENOMINACION	N. P.	NOTA
	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ
Dibujado	11-2007	M. Lopez	
Comprob.			
Escala	<b>DEPOSITO DE HIDROMIEL</b>		Plano nº <b>09</b>
<b>1:20</b>			Sustituye a:
			Sustituido por:



10	Agitador	1	
9	Conducción de descarga	1	
8	Grifo sacamuestras	1	
7	Entrada de agua refrigerante	1	
6	Salida de agua refrigerante	1	
5	Serpentín	1	
4	Medidor de nivel	1	
3	Boca de acceso superior	1	
2	Válvula desaire	1	
1	Conducción de carga	1	
MARCA	DENOMINACION	N. P.	NOTA

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ
Dibujado	11-2007	M. Lopez	
Comprob.			

Escala	<b>FERMENTADOR ACÉTICO</b>	Plano nº 10
1:20		Sustituye a:
		Sustituido por:



5	Conducción de descarga	1	
4	Grifo sacamuestras	1	
3	Boca de hombre	1	
2	Medidor de nivel	1	
1	Conducción de carga	2	

MARCA	DENOMINACION		N.P.	NOTA
	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CADIZ	
Dibujado	11-2007	M. Lopez		
Comprob.				

Escala	<b>MEZCLADOR</b>	Plano nº
1:20		<b>11</b>
		Sustituye a:
		Sustituido por:

**DOCUMENTO N°3**

**PLIEGO DE CONDICIONES**



**PLIEGO DE CONDICIONES**

El presente Pliego de Condiciones Generales tiene por objeto la ordenación, con carácter general, de las condiciones facultativas, económicas y legales que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos del presente proyecto, “*Planta de Producción de Vinagre de Miel*”.

Incluirá la descripción de las tareas, especificaciones de los materiales y elementos constitutivos y normas para la ejecución de las tareas, las condiciones de éste Pliego Particular serán preceptivas y prevalecerán sobre las del Pliego General en tanto las modifiquen o contradigan.

## CAPITULO I DISPOSICIONES GENERALES

- Artículo 1. Documentos que definen las obras
- Artículo 2. Compatibilidad y relación entre los documentos.
- Artículo 3. Dirección técnica de las obras.

## CAPITULO II CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA

- Artículo 4. Forma general de ejecutar los trabajos
- Artículo 5. Prescripciones técnicas.
- Artículo 6. Condiciones que deberán satisfacer los materiales.
- Artículo 7. Materiales no consignados en los pliegos.
- Artículo 8. Procedencia de los materiales y aparatos.
- Artículo 9. Control.
- Artículo 10. Obras o instalaciones no especificadas.
- Artículo 11. Materiales y equipos en general.

## CAPITULO III CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

### *EPÍGRAFE I “DE LA DIRECCIÓN FACULTATIVA”*

- Artículo 12. Dirección facultativa.
- Artículo 13. Facultad general de la dirección facultativa.

### *EPÍGRAFE II “OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONTRATISTA”*

- Artículo 14. Representación del contratista
- Artículo 15. Trabajos no estipulados expresamente en el pliego de condiciones
- Artículo 16. Insuficiente especificación en la documentación del proyecto.
- Artículo 17. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.
- Artículo 18. Información del contratista a subcontratas, instaladores y oficios.
- Artículo 19. Reclamaciones contra las órdenes de la Dirección Facultativa.
- Artículo 20. Recusación por el contratista del personal nombrado por la Dirección Facultativa.

Artículo 21. Recusación por la Dirección Facultativa del representante del Contratista.

Artículo 22. Del personal del Contratista.

### *EPÍGRAFE III “CONDICIONES GENERALES SOBRE LAS OBRAS Y SU EJECUCIÓN”*

Artículo 23. Calendario de trabajo.

Artículo 24. Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución.

Artículo 25. Orden de los trabajos.

Artículo 26. Ampliación del proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor.

Artículo 27. Prorrogas por causa de fuerza mayor.

Artículo 28. Responsabilidad de la Dirección Facultativa del Retraso de las Obras.

Artículo 29. Trabajos defectuosos.

Artículo 30. De los materiales, aparatos, procedencia y su empleo.

Artículo 31. Materiales no utilizables.

Artículo 32. Materiales defectuosos.

Artículo 33. Medios Auxiliares.

### CAPITULO IV CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

Artículo 34. Contratistas.

Artículo 35. Responsabilidad del contratista.

Artículo 36. Accidentes de trabajo.

Artículo 37. Obligaciones Laborales.

Artículo 38. Copias de documentos.

Artículo 39. Causas de rescisión de contrato.

### CAPÍTULO V CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA

#### *EPÍGRAFE I “BASE FUNDAMENTAL”*

Artículo 40. Base fundamental.

#### *EPÍGRAFE II “GARANTÍAS Y FIANZAS”*

Artículo 41. Garantías.

Artículo 42. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza.

Artículo 43. Devolución de la fianza.

### *EPÍGRAFE III “PRECIOS Y REVISIONES”*

Artículo 44. Precios unitarios.

Artículo 45. Alcance de los precios unitarios.

Artículo 46. Revisión de precios.

Artículo 47. Precios no señalados.

### *EPÍGRAFE IV “VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS”*

Artículo 48. Valoración de la obra.

Artículo 49. Equivocaciones en el presupuesto.

Artículo 50. Valoración de obras incompletas.

Artículo 51. Mejoras de obras libremente ejecutadas.

Artículo 52. Abonos por partidas alzadas.

Artículo 53. Liquidaciones parciales.

Artículo 54. Liquidación general.

Artículo 55. Suspensión o retraso en el ritmo de los trabajos.

## **CAPITULO I**

### **DISPOSICIONES GENERALES**

#### **Artículo 1. Documentos que definen las obras.**

Los documentos que definen las obras y que la Propiedad entregue al Contratista pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Son documentos contractuales los Planos y Pliego de Condiciones que están recogidos en el presente Proyecto.

Los datos incluidos en la Memoria y Anexos, así como la justificación de precios, tienen carácter meramente informativo.

Cualquier cambio en el planteamiento de la obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado, deberá ponerse en conocimiento de la Dirección Técnica para que lo apruebe si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

**Artículo 2. Compatibilidad y relación entre los documentos.**

En caso de contradicción entre los Planos y Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último documento. Lo mencionado en los Planos y omitido en el Pliego de condiciones o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

**Artículo 3. Dirección Técnica de las obras.**

La propiedad nombrará en su representación a un Ingeniero Superior, en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente Proyecto. El Contratista proporcionará toda clase de facilidades a la Dirección Técnica, o sus subalternos, para que puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

No será responsable ante la Propiedad, de la tardanza de los Organismos Competentes en la tramitación del Proyecto.

La tramitación es ajena a la Dirección Técnica, quien una vez conseguidos todos los permisos, dará orden de comenzar la obra.

**CAPÍTULO II****CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA****Artículo 4. Forma general de ejecutar los trabajos.**

Las obras se ajustarán a los Planos, la Memoria y Pliego de Condiciones, resolviéndose cualquier discrepancia que pudiera existir, por ingenieros Directores de Obra. Si por cualquier circunstancia fuera necesario practicar alguna modificación en las obras a realizar se redactará el correspondiente proyecto reformado, el cual desde el día de su fecha, se considerará parte integrante del proyecto primitivo, y por tanto sujeto a las mismas especificaciones de todos y cada uno de los documentos de éste en cuánto no se oponga explícitamente.

Si el proyecto reformado supone variación en el presupuesto total de las obras, se procederá con arreglo a lo expresado, referente al tipo económico de Contrata.

**Artículo 5. Prescripciones Técnicas.**

El conjunto de los diversos trabajos que deben realizarse para ultimar en las condiciones requeridas el conjunto proyectado, así como los materiales y aparatos que

se deben emplear relacionados y especificados en los documentos pertinentes y los restantes que, aunque no figuren, sean indispensables para la ejecución de los trabajos, siempre de acuerdo y en armonía con los documentos del proyecto, deberán reunir las condiciones, requisitos y especificaciones recogidos en el Pliego de Condiciones Generales de Índole Técnica del Pliego de Condiciones. Se exceptúan de aquello las condiciones que por causa del avance tecnológico hubieren caído en desuso, y se entenderán sustituidas por las modernas.

#### **Artículo 6. Condiciones que deberán satisfacer los materiales.**

Todos los materiales que hayan de emplearse habrán de reunir con todo rigor las especificaciones mecánicas, físicas y químicas, requeridas para cada uno de ellos reservándose la Dirección Técnica de la obra el derecho de ordenar sean retirados, demolidos o reemplazados, en cualquier momento durante el transcurso de las obras o cualquiera de los periodos de garantía, siempre que, a su parecer, perjudicasen la seguridad o la bondad de la obra. Deberán observarse con especial interés los siguientes aspectos técnicos:

- Como norma general, el acero empleado en la instalación será acero inoxidable AISI 316L y AISI 304L, salvo que se especifique lo contrario.
- El material de accesorios intermedios en contacto con las corrientes de proceso habrá de reunir, por el mismo motivo, las mismas especificaciones.
- Se prestará especial cuidado en el diseño mecánico de todos los elementos para evitar se produzcan futuros accidentes por estrés o corrosión.

#### **Artículo 7. Materiales no consignados en los Pliegos.**

Cualquier material no consignado ni descrito en los Pliegos, órdenes o normas ya mencionados y que fuese necesario emplear, reunirá las condiciones que se requieran para su función a juicio de la Dirección Técnica de la obra, y en este sentido, el criterio de la Dirección Facultativa será inapelable.

**Artículo 8. Procedencia de los materiales y aparatos.**

El contratista podrá abastecerse de objetos y aparatos para la ejecución de las obras en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las especificaciones técnicas exigidas por el proyecto.

**Artículo 9. Control.**

Antes de proceder al empleo de los materiales serán examinados y aceptado por el Directos, quien podrá disponer si así lo considera, de todas las pruebas, análisis, ensayos, etc. hasta su definitiva aprobación. Los gastos que dichos ensayos ocasionen, serán cargo exclusivo del Contratista.

**Artículo 10. Obras o instalaciones no especificadas.**

Si en el transcurso de los trabajos fuese necesario ejecutar alguna clase de obras no registrada en el Pliego de Condiciones, el Contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba de la Dirección Facultativa, quien a su vez cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El Contratista en dichos casos no tendrá derecho alguno a reclamación.

**Artículo 11. Materiales y equipos en general.**

- a) Como norma general, el material será acero inoxidable AISI 316L o AISI 304L.
- b) Las superficies en contacto con los alimentos serán lisas, pulidas y no porosas, para evitar el depósito y acumulación de partículas de alimento, bacterias o huevos de insectos, no debiéndose observar restos de alimentos en un análisis al microscopio de esa superficie.
- c) Todas las superficies en contacto con los alimentos podrán ser visibles para su inspección, es decir, serán accesibles, o debe estar demostrado que con los procedimientos de limpieza de rutina establecidos se conseguirá un nivel de limpieza, higiene y desinfección suficientes, sin que haya posibilidad de contaminación con bacterias o insectos. En este sentido, todas las superficies en contacto con los alimentos deben ser fácilmente accesibles para su limpieza manual, o si no son accesibles se debe asegurar un sistema de limpieza automático que garantice un nivel de limpieza similar al obtenido a mano.

d) Todas las zonas interiores de los equipos en contacto con los alimentos tendrán una disposición de manera que exista facilidad de drenado total de los líquidos alimentarios que se manejen o agentes y productos de limpieza.

e) El equipo también se diseñará para proteger los contenidos, el alimento que procesa, de la contaminación exterior. Por ello, las superficies exteriores y, en general, aquellas que no estén en contacto con el alimento, se dispondrán de manera que se evite la acumulación de suciedad y sea fácil su limpieza. Así, todas las partes del equipo serán accesibles para su limpieza y tendrá un diseño que permita un total drenaje de los agentes de limpieza para que no haya acumulación de éstos o de aguas de aclarado.

f) Las uniones serán soldadas, como norma general, frente a las uniones roscadas, para evitar acumulación de líquidos.

g) Los tanques se han de diseñar teniendo en cuenta la facilidad de limpieza. Dispondrán de bocas de hombre con accesos abatibles, que se dispondrán de manera que cuando se abran no dejen caer nada al interior del depósito. Se evitarán los montajes con la formación de ángulos agudos o rectos. Radios mínimos de 2 pulgadas. Las soldaduras con acero inoxidable han de ser de arco de argón y deben ser continuas, con material de soldadura similar al receptor.

h) El cálculo del espesor de pared en tanques se hará adecuadamente para evitar sobreesfuerzos en el material de construcción que pudieran dar lugar a corrosión por estrés.

i) Las patas de los tanques no tendrán encuentros cóncavos con el suelo. Serán acabadas en esfera preferentemente; si es necesario pie plano, se han de fijar al suelo sobre una pletina. Estas patas se dispondrán de manera que el tanque esté situado a no menos de 20 cm del suelo, permitiendo la limpieza de éste bajo el depósito. Del mismo modo, se dejará una separación entre el tanque y el muro más cercano y el techo del edificio que lo aloja que permita el acceso suficiente para su fácil limpieza.

j) Las bombas de líquido alimentario tendrán superficies de paso pulidas. Se evitarán las zonas muertas de flujo. Serán fácilmente desmontables para su limpieza, siendo pequeño el número de piezas a desmontar. Se evitará la presencia de roscas en contacto con el alimento. Los rodamientos se colocarán fuera de la zona de paso del alimento, debiendo existir un buen sellado entre ambas zonas. La bomba tendrá un drenaje total de alimento líquido y agentes de limpieza. El diseño exterior del grupo motor-bomba permitirá su fácil limpieza, con cobertura de plancha de acero inoxidable.



k) Las bombas irán montadas sobre patas, que han de ser pulidas y con pies redondeados y libres de tornillos roscados expuestos. Irán colocadas en lugares de accesibilidad suficiente.

l) Las válvulas no pondrán en contacto sus mecanismos con el alimento, mediante la presencia de un sellado adecuado deberán ser autovaciantes. Los materiales de construcción en contacto con el alimento y agentes de limpieza tendrán suficiente resistencia a la corrosión y un adecuado acabado de superficie.

m) Tuberías de producto alimenticio:

- *Uniones de tuberías:* la superficie interior de las tuberías han de encontrar una solución de continuidad en las uniones entre las mismas. Por tanto, la unión será soldada o del tipo unión rápida sanitaria. Las soldaduras tendrán un acabado superficial similar al resto de la superficie interior de la tubería.
- *Materiales de construcción y acabado de superficies:* en general se utilizará el acero inoxidable AISI 304L o AISI 316L, según el grado de corrosión posible. El acabado será el nº 4 en principio. Pueden utilizarse otros materiales, siempre que cumplan la legislación aplicable a los alimentos, y que sus propiedades sean similares a los aceros de calidad descritos, de modo que permitan una limpieza satisfactoria.
- *Montaje de redes de tuberías fijas:* será de manera que se consiga un drenaje fácil y total, para evitar que haya posible acumulación de alimento o de agentes de limpieza. La pendiente mínima será del 4% hacia los puntos de drenaje. Las tuberías serán accesibles para su inspección y mantenimiento.

### **CAPÍTULO III**

#### **CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA**

##### **EPÍGRAFE I.- “DE LA DIRECCIÓN FACULTATIVA”**

#### **Artículo 12. Dirección facultativa.**

La dirección facultativa de las obras e instalaciones recaerá en el Ingeniero que suscribe, salvo posterior acuerdo de la propiedad.

**Artículo 13. Facultad general de la dirección facultativa.**

Además de las facultades generales que corresponden a la dirección facultativa, expresadas en los artículos siguientes, es misión específica suya la dirección y vigilancia legal de los trabajos que se realicen, con autoridad técnica legal, completa e indiscutible sobre las personas y cosas situadas en obra y en relación con los trabajos que para la ejecución del contrato se lleven a cabo pudiendo incluso, pero con causa justificada, recurrir en nombre de la propiedad del contratista, si considera que el adoptar esta solución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

Con este fin el Contratista se obliga a designar sus representantes de obra, los cuales atenderán en todo las observaciones e indicaciones de la Dirección Facultativa, la inspección y vigilancia de todos los trabajos y a proporcionar información necesaria sobre el cumplimiento de las condiciones de la contrata y del ritmo de realización de los trabajos, tal como está previsto en el Plan de Obra.

A todos estos efectos el Adjudicatario estará obligado a tener en la obra durante la ejecución de los trabajos el personal técnico y los capataces y encargados que a juicio de la Dirección Facultativa sean necesarios para la debida conducción y vigilancia de las obras e instalaciones.

**EPIGRAFE II.- “OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONTRATISTA”****Artículo 14. Representación del Contratista.**

Desde que se dé el principio de las obras, hasta su recepción provisional, el contratista designará un jefe de obra como su representante autorizado que se encargará de que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Estará autorizado por el Contratista para recibir notificaciones escritas o verbales desde la Dirección Facultativa y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten. Asimismo, estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la Dirección Facultativa.

Cualquier cambio que el Contratista desee efectuar respecto a su representante cualificado y en especial del Jefe de Obras deberá comunicarlo a la Dirección Facultativa no pudiendo efectuar el relevo hasta la aceptación de la Dirección Facultativa de las personas designadas.

Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier rama, que como dependientes de la contrata intervengan en las obras y, en ausencia de todos ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial del Contratista en el contrato de adjudicación, aún en ausencia o negativa de recibido por parte de los dependientes de la contrata.

**Artículo 15. Trabajos no estipulados expresamente en el pliego de condiciones.**

Es obligación de la contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aún cuando no se halle estipulado expresamente en el pliego de condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo dispone la Dirección Facultativa y dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos determinen para cada obra y tipo de ejecución.

**Artículo 16. Insuficiente especificación en la documentación del proyecto.**

Si alguna parte de la obra no quedara suficientemente especificada en esta documentación, a juicio de la contrata o de la Propiedad, no se realizará hasta que la Dirección Facultativa diera las indicaciones precisas y concretas para su ejecución. Este extremo se advertirá a la citada Dirección por escrito, con la antelación necesaria para que se pueda estudiar el problema y aportar la solución más acertada sin que ello suponga retraso de la marcha de la obra. El tiempo de antelación variará con la importancia del estudio, siendo el mínimo de una semana.

**Artículo 17. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.**

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los pliegos de condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al contratista, estando éste a su vez obligado a devolver, los originales o copias, suscribiendo con su firma el enterado, que figurará asimismo en todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto de la Propiedad como de la Dirección Técnica.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuno hacer el Contratista, habrá de dirigirla en un plazo de 15 días a la Dirección Facultativa, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si lo solicitase.

**Artículo 18. Información del contratista a subcontratas, instaladores y oficios.**

El contratista se verá obligado a suministrar toda la información precisa a las subcontratas, instaladores y oficios, para que su labor se ajuste al proyecto. En cualquier caso el Contratista será el único responsable de las variaciones o errores que hubieran podido cometer en obra por desconocimiento de las especificaciones aquí detalladas.

**Artículo 19. Reclamaciones contra las órdenes de la Dirección Facultativa.**

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes dimanadas de la Dirección Facultativa, sólo podrá presentarlas, a través de la misma, ante la Propiedad, si son de orden económico, y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los pliegos de condiciones correspondientes, contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la Dirección Facultativa, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida a la Dirección Facultativa, la cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

**Artículo 20. Recusación por el Contratista del personal nombrado por la Dirección Facultativa.**

El Contratista no podrá recusar el personal técnico o de cualquier índole, dependiente de la Dirección Facultativa o de la Propiedad, encargado de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la Propiedad se designen otros facultativos para reconocimientos y mediciones. Cuando se crea perjudicado con los resultados de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente pero sin que por ésta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

**Artículo 21. Recusación por la Dirección Facultativa del representante del Contratista.**

Cuando esté ausente el Contratista, o si éste no fuese práctico en las artes de la construcción y siempre, por cualquier causa, la Dirección Facultativa lo estime

necesario, el Contratista tendrá la obligación de poner al frente de su personal un facultativo legalmente autorizado.

Sus funciones serán: vigilar los trabajos y colocación de andamios y demás medios auxiliares, verificar los replanteos y demás operaciones técnicas, así como cumplir las instrucciones de la Dirección Facultativa y firmar el “Libro de Órdenes” con el enterado a las órdenes del citado facultativo.

Será objeto de recusación el facultativo si carece de carné que acredite su cualificación, o si carece de conocimientos de construcción, probados por su experiencia y que le permitan la interpretación de los planos órdenes de forma que pueda cumplir sus funciones.

#### **Artículo 22. Del personal del Contratista.**

##### a) Encargado

El encargado nombrado por el contratista se considerará a las órdenes de la Dirección Facultativa, siempre que ésta o la persona que la sustituya, se lo requieran para el mejor cumplimiento de su misión.

##### b) Recusación del personal.

El Contratista viene obligado a separar de la obra, aquel personal que, a juicio de la Dirección Facultativa, no cumpla sus obligaciones de forma adecuada.

### **EPÍGRAFE III.- “CONDICIONES GENERALES SOBRE LAS OBRAS Y SU EJECUCIÓN”**

#### **Artículo 23. Calendario de Trabajo.**

El Contratista propondrá a la Dirección Facultativa el correspondiente calendario de trabajo. Aceptado este calendario se firmarán por la Contrata y la Dirección Técnica, quedándose cada parte en posesión de una copia.

La Contrata se obliga por este documento a justificar mensualmente el cumplimiento de las ejecuciones programadas.

**Artículo 24. Comienzo de los Trabajos y Plazo de Ejecución.**

Obligatoriamente y por escrito, el Contratista deberá dar cuenta a la Dirección Facultativa del comienzo de los trabajos antes del transcurso de veinticuatro horas desde su comienzo.

Para la formalización del Acta de Replanteo serán necesarias la preparación a pie de obra de la maquinaria y demás elementos auxiliares para el comienzo, así como la adjudicación de los trabajos que haya lugar y con el personal suficiente.

La fecha de comienzo deberá constar en el calendario de trabajo, mientras que el plazo de ejecución vendrá determinado en el contrato establecido entre la Contrata y la Propiedad.

**Artículo 25. Orden de los Trabajos.**

En general, la determinación del orden de los trabajos será facultad potestativa de la Contrata, salvo aquellos casos en los que, por cualquier circunstancia de orden técnico o facultativo, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

Estas órdenes deberán ser comunicadas por escrito a la Contrata, que estará obligada a su estricto cumplimiento, siendo directamente responsable de cualquier daño o perjuicio que pudiera sobrevenir por su incumplimiento.

**Artículo 26. Ampliación del Proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor.**

Cuando en obras de reforma o reparación sea preciso, por motivo imprevisto o por cualquier accidente, ampliar al proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándolos según las instrucciones dadas por la Dirección Facultativa, en tanto se reformula o tramita el proyecto reformado.

El Contratista está obligado a realizar con su personal y sus materiales, cuando la Dirección Facultativa de la obra lo disponga, para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento éste servicio, cuyo importe será consignado en el presupuesto adicional o abonado directamente de acuerdo con lo que mutuamente acuerden.

**Artículo 27. Prórrogas por causa de fuerza mayor.**

Si por causas de fuerza mayor o independientemente de la voluntad del Contratista y siempre que ésta causa sea distinta de las que se especifican como la

rescisión en el capítulo “Condiciones Generales de Índole Legal”, aquel que no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas en los plazos prefijados se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la Contrata, previo informe favorable de la Dirección Facultativa acerca de la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

**Artículo 28. Responsabilidad de la Dirección Facultativa del Retraso de las Obras.**

Con objeto de no interferir la marcha de las obras, y para el cumplimiento del plazo, la Contrata solicitará a la Dirección Facultativa los datos que considere pueden retrasar el mismo.

Asimismo, antes de ejecutar una unidad de obra no estipulada en el Proyecto, se someterá con antelación suficiente el precio contradictorio para su aprobación, que firmarán en caso de aceptación la Propiedad, la Dirección Facultativa y el Contratista adjudicatario de las obras, previo informe de la repercusión económica de los precios contradictorios.

**Artículo 29. Trabajos Defectuosos.**

Cuando la Dirección Facultativa o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos realizados, o que los materiales empleados o aparatos colocados no reúnen las condiciones necesarias y acordadas, ya sea durante el transcurso o tras la finalización previa a la verificación de la recepción definitiva, de los trabajos, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado y a expensas de la Contrata. Si ésta se negase por estimarlo injustificado, se procederá de acuerdo con el apartado “Materiales y Aparatos Defectuosos”.

**Artículo 30. De los Materiales, Aparatos, Procedencia y su Empleo.**

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de toda clase cuando lo crea conveniente, siempre que reúnan las condiciones exigidas en el contrato y sean convenientemente aplicables según las disposiciones establecidas por la Dirección Facultativa en el pliego de Condiciones.

No se procederá al empleo e instalación de los mismo sin el previo examen y visto bueno de la Dirección, según las disposiciones establecidas. Deberá suministrarse al Contratista las muestras y modelos necesarios para la realización de las pruebas. Los gastos de ensayos, análisis y pruebas corren a cargo del Contratista.

#### **Artículo 31. Materiales No Utilizables.**

El Contratista deberá ubicarlos adecuadamente sin que con ello estorbe a la realización de los trabajos de los que es responsable. Posteriormente deberán ser retirados y depositados en un vertedero si en el Pliego de Condiciones Particulares de la Obra así estuviese indicado. En caso de no estar contemplado, se retirarán de la obra cuando lo ordene la Dirección Facultativa, acordándolo con el Contratista, atendiendo con ello a su justa tasación y considerando los costes de transporte y el valor de los propios materiales.

#### **Artículo 32. Materiales Defectuosos.**

Cuando los materiales no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, la Dirección Facultativa dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos de Condiciones específicos, o a falta de éstos, a las órdenes de la Dirección Facultativa.

#### **Artículo 33. Medios Auxiliares.**

Los andamios, cimbras, máquinas y demás medios necesarios para la correcta ejecución de los trabajos serán responsabilidad del Contratista. El propietario estará exento por tanto de responsabilidad por avería o accidente personal que pueda ocurrir por insuficiencia de dichos medios.

Del mismo modo los medios de señalización y protección de la obra y los trabajadores serán responsabilidad del Contratista.

### **CAPÍTULO IV** **CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL**

#### **Artículo 34. Contratistas.**

Los requisitos que deberán cumplir los Contratistas figuran detallados en los artículos correspondientes relacionados con los aspectos relacionados con la obra.



**Artículo 35. Responsabilidad del Contratista.**

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones recogidas en el contrato y según las disposiciones adoptadas en los Documentos de Proyecto (la Memoria tendrá consideración como tal).

Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la Dirección Técnica haya examinado y reconocido la construcción durante el transcurso de las obras, ni el que hayan sido abonadas en las liquidaciones parciales.

**Artículo 36. Accidentes de Trabajo.**

En casos de accidentes ocurridos a los operarios, con motivo y en el ejercicio del trabajo para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la Legislación vigente, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad, por cualquier tipo de responsabilidades.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan, para evitar en lo posible accidentes a los obreros o a los viandantes, no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos o susceptibles de riesgo de la obra.

De los accidentes y perjuicios de todo género que, por no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será éste el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados está incluido todo gasto preciso para cumplir debidamente dichas disposiciones. Será preceptivo que en el tablón de anuncios de la obra y durante todo el transcurso de los trabajos figure el artículo “Pliego de Condiciones Generales de Índole Legal”, sometiéndolo previamente a la firma de la Dirección Facultativa.

**Artículo 37. Obligaciones Laborales.**

El Contratista es el único responsable del fiel cumplimiento de la vigente Legislación Laboral. Por tanto, todo el personal que intervenga en la obra estará dado de alta, con su cualificación correspondiente, en los Organismos Oficiales que sean indicados.

**Artículo 38. Copias de Documentos.**

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los Planos, Presupuesto y Pliego de Condiciones, y demás documentos del Proyecto.

La Dirección Facultativa, si el Contratista lo solicita, autorizará estas copias con su firma una vez confrontadas.

**Artículo 39. Causas de Rescisión de Contrato.**

- Se consideran causas suficientes de rescisión las siguientes:
  - La muerte o incapacidad del Contratista.
  - La quiebra del Contratista.

Para ambos casos, si los herederos o síndicos ofrecieran llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, son que en éste último caso tengan aquellos derechos a indemnización alguna.

- o Las alteraciones del contrato por alguna de las siguientes causas:
  - La modificación del Proyecto de forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la Dirección Facultativa, y en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de éstas modificaciones represente el 25% como mínimo, del importe de aquel.
  - La modificación de unidades de obra, siempre que éstas representen variaciones del 40% como mínimo de alguna de las unidades que figuren en las mediciones del Proyecto, o bien más del 50% de unidades de obra modificadas.
- o La suspensión de obra comenzada, y en todo caso, siempre por causas ajenas a la Contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada en el plazo de tres meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.
- o La suspensión de obra comenzada, siempre considerando el plazo especificado en las Condiciones Particulares del Proyecto.

- El no dar comienzo la Contrata a los trabajos en el plazo señalado en las Condiciones Particulares del Proyecto.
- El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido a mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- La terminación del plazo de ejecución de las obras, sin haberse dado la conclusión de las mismas.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La mala fe en la ejecución de los trabajos.

## **CAPITULO V**

### **CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA**

#### **EPIGRAFE I “BASE FUNDAMENTAL”**

##### **Artículo 40. Base Fundamental.**

Como base fundamental de éstas “Condiciones particulares de índole económica”, se establece que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que se hayan llevado a cabo con arreglo a lo establecido en el texto y planos del proyecto, tanto a sus condiciones generales como particulares que fijan la construcción del edificio y obra aneja contratada.

#### **EPIGRAFE II “GARANTÍAS Y FINANZAS”**

##### **Artículo 41. Garantías.**

La Dirección Técnica podrá exigir al Contratista la presentación de referencias o de otras entidades o personas, con objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato. Dichas referencias, de ser perdidas, las presentará el Contratista antes de la firma del contrato.

##### **Artículo 42. Ejecución de los Trabajos con Cargo a la Fianza.**

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, la Dirección Técnica, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero o por Administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que

tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de dicha fianza resultase insuficiente para abonar los gastos en las unidades de obra que fueran de recibo.

#### **Artículo 43. Devolución de la Fianza.**

El plazo de devolución de la fianza depositada por el Contratista no superará los ocho días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la Obra. Siempre y cuando el Contratista haya acreditado por vía certificada mediante la máxima autoridad política del municipio donde se halle emplazada la obra, que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos durante los trabajos.

### **EPIGRAFE III “PRECIOS Y REVISIONES”**

#### **Artículo 44. Precios Unitarios.**

El Contratista presentará precios unitarios de todas las partidas que figuran en el estado de mediciones que se le entregará.

Los precios unitarios que compongan el presupuesto oferta, tienen valor contractual y se aplicarán a las posibles variaciones que pudieran sobrevenir.

#### **Artículo 45. Alcance de los Precios Unitarios.**

El presupuesto se entiende comprensivo de la totalidad de la obra, instalaciones o suministro que llevará implícito el importe de los trabajos auxiliares, el de la imposición fiscal derivada del contrato y de la actividad del Contratista en su ejecución, el de las cargas laborales de todo orden, todos los cuales no son objeto de partida específica. Quedarán incluidos en la oferta de la empresa constructora todos aquellos trabajos y materiales que aún no están descritos en el presente Pliego de Condiciones, y sean totalmente necesarios para la conclusión de la obra.

#### **Artículo 46. Revisión de Precios.**

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ese motivo que no se deban admitir en principio la revisión de los precios contratados. Dada la variabilidad continua de los precios, de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los

materiales y transportes, características de determinadas épocas anormales, se admite durante ellas la revisión de los precios contratados, tanto en alza como en baja y siempre en armonía con las oscilaciones de los precios del mercado. Se admitirán solamente aquellas variaciones de precios y jornales que hayan sido autorizados oficialmente. Por ello, en los casos de revisión en alza, el Contratista puede solicitarla del Propietario, notificándolo por escrito, en el momento en que se produzca cualquier alteración de precios que repercuta aumentando los contratos.

Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de continuar con la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado, y por causa justificada, haya subido, especificándose, y acordándose previamente a la fecha a partir de la cual será actualizado el nuevo precio, para lo cual se tendrá en cuenta el acopio de materiales en la obra en el caso de que estuviesen abonados total o parcialmente por el Propietario. Si el Propietario, o en su representación la Dirección Facultativa, no estuviesen conformes con los nuevos precios de materiales, transportes, etc., que el Contratista desea recibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, y éste la obligación de aceptar, los materiales, transportes, etc., a precios inferiores de los pedidos por el Contratista, en cuyo caso se tendrán en cuenta para la revisión los precios de los materiales transportes, etc., adquiridos por el Contratista según la información del Propietario.

Cuando el Propietario o la Dirección Facultativa en su presentación, solicitase al Contratista la revisión de precios por haber bajado los jornales, materiales, transportes, etc., se convendrá entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad con la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezarán a regir los precios revisados. Cuando entre los documentos firmados por ambas partes figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

#### **Artículo 47. Precios no señalados.**

La fijación de precios deberá hacerse antes de que se ajuste la obra a la que haya de aplicarse, pero si por cualquier circunstancia, en el momento de hacer las mediciones no estuviese aún determinada, el Contratista está obligado a aceptar el que señale la Dirección Facultativa.

Cuando, a consecuencia de rescisión u otra causa, fuere necesario valorar obras incompletas cuyo precio no coincida con ninguno de los que consiguen en el cuadro de precios, la Dirección Facultativa será la encargada de descomponer el trabajo realizado y compondrá el precio sin reclamación por parte del Contratista.

#### **EPÍGRAFE IV “VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS”**

##### **Artículo 48. Valoración de la Obra.**

La medición de la obra concluida se realizará por medio del tipo de unidad fijada en el presupuesto. Deberá obtenerse la valoración aplicando a las diversas unidades de obra el precio que tuviese asignado en el presupuesto, añadiendo a éste importe el de los tantos por ciento que correspondan al beneficio industrial y descontando el tanto por ciento que corresponda a la baja en la subasta hecha por el Contratista.

##### **Artículo 49. Equivocaciones en el Presupuesto.**

Si el Contratista no expone observaciones acerca de posibles errores en el presupuesto, se supone que está totalmente de acuerdo con lo que en él se presenta. Si la obra una vez en ejecución, contiene un mayor número de unidades de las que en el documento aparecen, no tendrá derecho a reclamación alguna. Si, por el contrario, el número de unidades resultase menor, se descontaría su importe del presupuesto.

##### **Artículo 50. Valoración de Obras Incompletas.**

Cuando a consecuencia de rescisión u otras causas, fuera preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionada en forma distinta a la establecida en los cuadros de precios.

##### **Artículo 51. Mejoras de obras Libremente Ejecutadas.**

Cuando el Contratista, incluso con la autorización de la Dirección Facultativa, emplease materiales de más esmerada preparación o de dimensiones superiores que la señalada en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra de mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o en general, introdujese en ésta, y sin pedírsele, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio de la Dirección Técnica, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiese

corresponderle en el caso de que hubiese constituido la obra con arreglo y sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

#### **Artículo 52. Abonos por Partidas Alzadas.**

Caso de que por no existir en el presupuesto precios unitarios que puedan emplearse por asimilación con las obras ejecutadas por partidas alzadas, éstas se abonarán previa presentación de los justificantes de su costo, (adquisición de materiales y lista de jornales debidamente controladas por la Dirección Facultativa).

#### **Artículo 53. Liquidaciones Parciales.**

Periódicamente, el Contratista tendrá derecho a recibir una cantidad proporcional al porcentaje de obra ejecutada en dicho periodo. A la vista del calendario de obra, se fijará el alcance de cada uno de ellos y las cantidades a percibir tras su conclusión.

Estas cantidades tendrán carácter de entrega a buena cuenta y el Contratista no podrá percibir las hasta que no hay dado la conformidad la Dirección Facultativa.

De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya establecido.

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso, suspender los trabajos ni llevarlos con menos incremento del necesario para la terminación de las obras en el plazo previamente establecido.

#### **Artículo 54. Liquidación General.**

Terminadas las obras se procederá a hacer la liquidación general, que constará de las mediciones y valoraciones de todas las unidades que constituyan la obra.

#### **Artículo 55. Suspensión o Retraso en el Ritmo de los Trabajos.**

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender los trabajos ni ejecutarlos a menor ritmo que el que les corresponda, con arreglo a los plazos preestablecidos. Cuando se proceda de dicha forma, el Propietario podrá rescindir la Contrata.

## **PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES**

### **I. NORMATIVA BÁSICA**

Ley 21/1992 de 16 de Julio, de Industria B.O.E. N° 176 publicado el 23/7/1992.

Real Decreto 607/1995, de 28 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento del Registro de Establecimientos Industriales de ámbito estatal B.O.E. N° 128 publicado el 30/5/1995.

Real Decreto 2200/1995, de 28 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial B.O.E. N° 32 publicado el 6/2/1996.

Real Decreto 251/1997, de 21 de Febrero de 1997, por el que se aprueba el Reglamento del Consejo de Coordinación de la Seguridad Industrial B.O.E. N° 66 publicado el 18/3/1997.

Real Decreto 411/1997, de 21 de Marzo, por el que se modifica el Real Decreto 2200/1995, de 28 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y Seguridad Industrial B.O.E. N° 100 publicado el 26/4/1997.

### **II. LEGISLACIÓN NACIONAL SOBRE ALIMENTOS**

*Disposiciones a tener en cuenta:*

Directiva (CEE) N° 590/1980, sobre el símbolo que debe acompañar a los materiales y objetos destinados a estar en contacto con los alimentos.

Directiva (CEE) N° 109/1989, sobre materiales y objetos destinados a entrar en contacto con los alimentos.

Real Decreto 1425/1988: “Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de materiales plásticos destinados a estar en contacto con productos alimenticios y alimentarios”.



Real Decreto 397/1990: “Condiciones Generales de los materiales para uso alimentario, distinto de los poliméricos”.

### **III. LEGISLACIÓN NACIONAL RELATIVA AL ÁREA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL**

#### **A) EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL**

##### Directiva 89/686/CEE (Equipos de Protección Individual).

- ❖ Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
- ❖ Orden de 16 de mayo de 1994, por la que se modifica el período transitorio establecido en el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
- ❖ Real Decreto 159/1995, de 3 de febrero por el que se modifica el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre por el que se regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
- ❖ Resolución de 25 de abril de 1996, de la Dirección General de Calidad y Seguridad Industrial, por la que se publica, a título informativo, información complementaria establecida por el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre por el que se regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
- ❖ Orden de 20 de febrero de 1997, por la que se modifica el anexo del Real Decreto 159/1995, de 3 de febrero, que modificó a su vez el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, relativo a las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.

- ❖ Resolución de 18 de marzo de 1998, de la Dirección General de Tecnología y Seguridad Industrial por la que se actualiza el anexo IV de la Resolución de 25 de abril de 1996 de la Dirección General de Calidad y Seguridad Industrial.
- ❖ Resolución de 29 de abril de 1999, de la Dirección General de Tecnología y Seguridad Industrial por la que se actualiza el anexo IV de la Resolución de 18 de marzo de 1998 de la Dirección General de Tecnología y Seguridad Industrial.
- ❖ Resolución de 28 de julio de 2000, de la Dirección General de Política Tecnológica por la que se actualiza el anexo IV de la Resolución de 29 de abril de 1999, de la Dirección General de Industria y Tecnología.
- ❖ Resolución de 7 de septiembre de 2001, de la Dirección General de Política Tecnológica por la que se actualiza el anexo IV de la Resolución de 28 de julio de 2000.
- ❖ Resolución de 27 de mayo de 2002, de la Dirección General de Política Tecnológica por la que se actualiza el anexo IV de la Resolución de 25 de abril de 1996, por la que se regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.

## B) PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

### Reglamento

- ❖ Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- ❖ Orden de 16 de abril de 1998, sobre normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo.

## C) SEGURIDAD EN LAS MÁQUINAS

### REGLAMENTACIÓN REFERENTE A DIRECTIVAS COMUNITARIAS

Directivas 98/37/CE (Máquinas)

- ❖ Real Decreto 1435/1992 de 27 de noviembre por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- ❖ Real Decreto 56/1995, de 20 de enero por el que se modifica el Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre relativo a las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE sobre máquinas.
- ❖ Resolución de 1 de marzo de 1995, de la Dirección General de Calidad y Seguridad Industrial, por la que se publica la relación de organismos notificados por los Estados miembros de la Unión Europea para la aplicación de la Directiva 89/392/CEE, sobre máquinas.
- ❖ Resolución de 5 de marzo de 1996, de la Dirección General de Calidad y Seguridad Industrial por la que se publica la relación de organismos notificados por los Estados miembros de la Unión Europea para la aplicación de la Directiva 89/392/CEE, sobre máquinas.
- ❖ Resolución de 1 de junio de 1996, de la Dirección General de Tecnología y Seguridad Industrial, por la que se acuerda la publicación de la relación de normas armonizadas en el ámbito del Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre de aplicación de la Directiva 89/392/CEE, sobre máquinas.
- ❖ Resolución de 19 de mayo de 1997, de la Dirección General de Tecnología y Seguridad Industrial, por la que se acuerda la publicación de la relación de normas armonizadas en el ámbito del Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre de aplicación de la Directiva 89/392/CEE, sobre máquinas modificado por el Real Decreto 56/1995, de 20 de enero.
- ❖ Resolución de 5 de julio de 1999, de la Dirección General de Industria y Tecnología, por la que se acuerda la publicación de la lista actualizada de normas armonizadas en el ámbito del Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, de aplicación de la Directiva 89/392/CEE, sobre máquinas modificadas por el Real Decreto 56/1995 de 20 de enero.

#### **IV. LEGISLACIÓN SOBRE APARATOS PRESIÓN**

##### Reglamento

- ❖ Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión.
- ❖ Real Decreto 507/1982, de 15 de enero por el que se modifican los artículos sexto y séptimo del Reglamento de Aparatos a Presión.
- ❖ Real Decreto 1504/1990, de 23 de noviembre por el que se modifican determinados artículos del Reglamento de Aparatos a Presión.

#### **V. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

##### Reglamento

- ❖ Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- ❖ Real Decreto 39/1997 por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- ❖ Real Decreto 487/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores.
- ❖ Real Decreto 486/1997 de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- ❖ Real Decreto 485/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- ❖ Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- ❖ Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos de trabajo.
- ❖ Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre por el que se aprueban las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

**DOCUMENTO N°4**

**PRESUPUESTO**

## PRESUPUESTO

El objetivo de este documento es presentar una valoración aproximada de cuál será la inversión necesaria para la ejecución material del presente proyecto. Para la estimación del presupuesto se ha tenido en cuenta el coste de los equipos, los materiales y la instrumentación. Se evaluarán los diferentes equipos de las dos naves, el coste de los materiales: tuberías, válvulas, accesorios (codos, tees, etc.) y la instrumentación necesaria para llevar a cabo el control automático de ésta.

### 1. Coste de los depósitos, fermentadores y equipos

<b>DEPÓSITOS Y FERMENTADORES</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	<b>Precio total (€)</b>
Depósito de miel, acero inoxidable (6 m <sup>3</sup> )	1	8.378,00	8.378,00
Precalentador de miel, acero inoxidable (0,125 m <sup>3</sup> )	1	4.722,00	4.722,00
Depósito de agua, acero inoxidable (1 m <sup>3</sup> )	1	5.651,00	5.651,00
Fermentador alcohólico, acero inoxidable (1 m <sup>3</sup> )	1	5.651,00	5.651,00
Decantador, acero inoxidable (1 m <sup>3</sup> )	1	3.418,00	3.418,00
Depósito de hidromiel, acero inoxidable (5 m <sup>3</sup> )	1	4.889,00	4.889,00
Fermentador acético, acero inoxidable (1 m <sup>3</sup> )	1	5.841,00	5.841,00
Mezclador, acero inoxidable (5 m <sup>3</sup> )	1	4.889,00	4.889,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>86.219,00</b>

**Tabla 49. Coste de los depósitos y fermentadores.**

<b>Otros equipos</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Precio total (€)</b>
Equipo de microfiltración	1	32.150,00	32.150,00
Aireador-agitador Fibrorator	1	10.630,00	10.630,00
Bomba de miel Apinorte	3	1.344,00	4.032,00
Bomba centrífuga	6	2.525,00	15.150,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>61.962,00</b>

Tabla 50. Coste de equipos de la planta.

## 2. Coste de la instrumentación

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	<b>Precio total (€)</b>
Sensor de temperatura marca Kobold	4	583,00	2.332,00
Controlador marca Cole-Parmer	4	217,00	868,00
Electroválvula marca Cole-Parmer	4	489,00	1.956,00
Sensor de nivel marca Kobold	3	2.516,00	7.548,00
Controlador marca Cole-Parmer	3	212,00	636,00
Electroválvula marca Cole-Parmer	3	459,00	1.377,00
Sensor de oxígeno marca Cole-Parmer	1	1.139,00	1.139,00
Controlador marca Cole-Parmer	1	875,00	875,00
Electroválvula marca Cole-Parmer	1	509,00	509,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>17.240,00</b>

Tabla 51. Coste de la instrumentación.

### 3. Coste de los materiales y accesorios

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Precio total (€)
Tubería	70 m	49,00 €/m	3.430,00
Codo 90°	21 unid.	30,00 €	630,00
Tee	8 unid.	55,00 €	440,00
Válvula de control	6 unid.	740,00 €	4.440,00
Válvula de compuerta	2 unid.	246,00 €	492,00
Válvula de retención	3 unid.	979,00 €	2.937,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>12.369,00</b>

Tabla 52. Coste de los materiales y accesorios.

### 4. Resumen del presupuesto

CONCEPTO	TOTAL (€)
Depósitos y fermentadores	86.219,00
Otros equipos	61.962,00
Instrumentación	17.240,00
Materiales	11.732,00
<b>Total ejecución material</b>	<b>177.153,00</b>
I.V.A. (16%)	28.344,48
Medios auxiliares (2%)	3.543,06
Costes indirectos (5,5)	9.743,42
<b>Costes totales de la planta</b>	<b>218.783,96</b>
Beneficio industrial (15%)	32.817,59
<b>Presupuesto total por contrata</b>	<b>251.601,55</b>
Ingeniería (4%)	10.064,06
<b>Presupuesto total del proyecto</b>	<b>261.665,61</b>

Tabla 53. Presupuesto total del proyecto.



El presupuesto total del Proyecto “*Planta de producción de vinagre de miel*” asciende a la cantidad de DOSCIENTOS CINQUENTA Y NUEVE MIL SEISCIENTOS OCHENTA CON CUARENTA Y CINCO EUROS.

Puerto Real, Noviembre de 2007

La alumna

Fdo: Marta López González

