

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

Estudio técnico-económico de una planta de
producción de 70.000 L/año de hidromiel

Autor: José Domínguez García

Tutor: Mónica Rodríguez Galán, Fernando Vidal Barrero

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

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Estudio técnico-económico de una planta de producción de 70.000 L/año de hidromiel

Autor:

José Domínguez García

Tutor: Mónica Rodríguez Galán, Fernando Vidal Barrero.

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

Sevilla, 2021

Proyecto Fin de Carrera: Estudio técnico-económico de una planta de producción de 70.000 L/año de hidromiel

Autor: José Domínguez García

Tutor: Mónica Rodríguez Galán,
Fernando Vidal Barrero.

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mi familia, por proveer durante buena parte del desarrollo de este trabajo con buena cara (casi siempre), a los tutores de este trabajo por la ayuda prestada, a Valhalla, por abrirme sus puertas y prestarme su ayuda las veces que han sido necesarias y a Minok que, aunque no le importe en absoluto ser mencionado, debe ser mencionado.

Jose Domínguez García

Sevilla, 2021

Resumen

El hidromiel no es una bebida popular en España, y en la mayoría de la geografía no existe tradición asociada a su consumo, al contrario de lo que ocurriría con la cerveza o el vino. Pese a este hecho, cada vez son más las empresas y los particulares que, dentro de este país, se dedican a la producción de esta bebida.

Debido al crecimiento en el consumo de este preparado que se ha producido en los últimos años, cobra sentido realizar un estudio que indique la viabilidad de establecer una planta de producción de 70.000 L/año.

Para estudiar dicha viabilidad se han desarrollado unos diagramas de flujo y de proceso con el fin de que la persona que lea el documento pueda hacerse una idea general del funcionamiento de la planta planificada de una manera sencilla. Se ha elegido una base de cálculo. Con esta y los diagramas mostrados en el apartado correspondiente se lleva a cabo el balance de materia. Conocido este último se ha desarrollado un balance de energía con el objetivo de determinar la energía térmica necesaria para llevar el proceso a las condiciones deseadas. Posteriormente se ha realizado un balance de presiones a lo largo de las líneas principales del proceso. Con estos resultados se ha determinado a lo largo del desarrollo de los cálculos las dimensiones de los equipos.

Finalmente, conocidos los tres balances y las dimensiones de los equipos a utilizar se lleva a cabo el balance económico, en el cual se determina la inversión inicial necesaria, la inversión anual, los ingresos y el tiempo de retorno de la inversión.

Abstract

Mead is not a very popular drink in Spain, opposite to beer or wine, it is not usual. Despite this, nowadays, more and more companies and individuals make mead for selling or self-consumption.

The increasing popularity of this preparation in last years, makes think about profitability of stablishing a 70.000 L/year producing plant.

Flowchart and process diagrams are shown to make easier to understand the production process. Once the diagrams and the process are settled, a material balance is made. The obtained results and the fixed thermal conditions let stablish an energy balance. The last one is a pressure balance. With the results of those is possible to know the necessary equipment and dimensions of them.

At this point, it is possible to calculate the necessary investment, the production costs, finally the profitability and payback can be determined.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract.....	x
Índice	xii
Índice de Tablas.....	xiv
Índice de Figuras	xvi
Notación.....	xviii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 <i>Historia</i>	1
1.2 <i>Características</i>	1
1.3 <i>Tipos de hidromiel y materias primas.</i>	3
2 Objetivos.....	7
3 Diagramas de Procesos	9
3.1 <i>Justificación base de cálculo</i>	9
3.2 <i>Diagrama de procesos</i>	9
4 Balance de Materia	17
4.1 <i>Corrientes 1,2 y 3</i>	18
4.2 <i>Corrientes 4,5 y 6</i>	18
4.3 <i>Corrientes 7 y 8</i>	19
4.4 <i>Corriente 9</i>	19
4.5 <i>Corrientes 10 a 14</i>	20
4.6 <i>Tratamiento final y embotellado</i>	21
5 Balances de Energía	23
5.1 <i>Licucción de la miel</i>	24
5.2 <i>Balance de energía en el mezclador</i>	28
5.3 <i>Balance de energía en el fermentador primario</i>	30
5.4 <i>Balance de energía en el envejecedor</i>	32
5.5 <i>Caso más desfavorable por baja temperatura</i>	34
5.6 <i>Caso más desfavorable por alta temperatura</i>	35
6 Balance de Presiones	37
6.1 <i>Tramo 1</i>	37
6.2 <i>Tramo 2</i>	38
6.3 <i>Tramo 3</i>	40
6.4 <i>Tramo 4</i>	40
6.5 <i>Tramo 5</i>	41
6.6 <i>Tramo 6</i>	42
7 Viabilidad Económica	45
7.1 <i>Coste de inversión</i>	45
7.2 <i>Coste de producción</i>	47

7.3	<i>Precio mínimo del hidromiel frente a payback</i>	49
8	Conclusiones	51
9	Referencias bibliográficas	53
10	ANEXO I: Cálculos económicos para 50.000L/año	57
11	ANEXO II: Disposición de reactores	61
12	ANEXO III: Fichas técnicas equipos	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Tipos de hidromiel y sus características principales.	5
Tabla 3.1	Rangos de peso específico según tipo de hidromiel	11
Tabla 3.2	Tabla de las corrientes del proceso.....	16
Tabla 5.1	Temperatura media de cada mes en Sevilla entre los años 2010 y 2019.....	24
Tabla 5.2	Tabla resumen de la operación de licuación de la miel	27
Tabla 5.3	Resultados balance de energía en el mezclador según los meses.	29
Tabla 5.4	Tiempo que tarda el mosto en volver a 20°C.....	32
Tabla 5.5	Tiempo en los que se alcanzan los 15°C.....	34
Tabla 7.1	Coste de los equipos principales.....	46
Tabla 7.2	Coste total de inversión para la planta	47
Tabla 7.3	Costes asociados a la producción.	48
Tabla 7.4	Precio de hidromiel por litro restringiendo el payback.....	50
Tabla I.1	Coste equipos estimación 50.000 L/año	57
Tabla I.2	Coste de inversión total para 50.000 L/año.	58
Tabla I.3	Coste de producción de 50.000 L.....	59
Tabla I.4	Precio por litro de hidromiel frente a payback impuesto.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Diagrama de bloques del proceso.....	12
Figura 3.2	Diagrama de los equipos y las corrientes principales.	13
Figura 3.3	Diagrama de corrientes auxiliares.	14
Figura 3.4	Diagrama global del proceso.	15
Figura Anexo-II.1.	Representación esquemática de la disposición de los reactores.	61
Figura Anexo-II.2.	Representación de triángulo imaginario para la determinación de las longitudes.	62

Notación

A	Área de transferencia
a.C.	Antes de Cristo
°C	Grados centígrados
C _{xxxx}	CEPCI para el año XXXX
cm	Centímetro
CEPCI	Chemical engineering plant cost index
C _p	Calor específico
d	Diámetro
f	Factor de fricción de Fanning
g	Gravedad en la Tierra
h	Horas
ΔH	Pérdida de altura en el sistema o la bomba
h _{AB}	Pérdida de carga
h _i	Coefficiente de película térmico
J	Julios
J/kg·°C	Julios por kilogramo y grado Celsius
k	Conductividad térmica
kg	Kilogramos
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
kgf/L	Kilogramofuerza por litro
kJ	Kilojulios
kW	Kilovatio
K/W	Grado Kelvin por Watio
L	Litros
L _a	Litros agua
L _m	Litros miel
L _{eq}	Longitud equivalente
L/año	Litro al año
L/hora	Litros por hora
L/lote	Litros en cada lote
L/mes	Litros al mes

L/s	Litros por segundo
m	Metro
mm	Milímetro
\bar{m}	Caudal másico
m/s	Metro por segundo
m ²	Metro cuadrado por segundo cuadrado
m ² /s ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cúbico por hora
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
mg/kg	Miligramo por kilogramo
min	Minuto
NPSH)	Net positive suction head
P	Presión
Pa	Pascales
Pa·s	Pascales por segundo
q	Calor transferido
R	Resistencia térmica
r	Radio
Re	Número adimensional de Reynolds
s	Segundo
Sup _{ext}	Superficie exterior
Sup _{int}	Superficie interior
\bar{T}	Temperatura media
U	Transferencia global de calor
u	Velocidad del fluido
v/v	Partes en volumen
W	Vatio
W/m ² *K	Wattios por metro cuadrado y grado Kelvin
ΔT	Incremento de temperatura
Z	Altura
α	Factor de corrección para régimen laminar o turbulento
ρ	Densidad
\varnothing_{ext}	Diámetro exterior
→	Reacción química
€	Euro
€/g	Euro por gramo
€/m ³	Euro por metro cúbico

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Historia

El hidromiel es una bebida alcohólica producida a partir de la fermentación de una mezcla de agua y miel.

Es considerada por algunos la bebida más antigua del mundo. Los restos más antiguos de esta bebida (aunque es difícil diferenciar si se produjo de forma intencionada) se encontraron en China, en una vasija mezclada con arroz y frutas. Datado en el año 7.000 a.C.

De acuerdo con algunos documentos y hallazgos arqueológicos, esta bebida fue consumida en África, América, Asia y Europa. En Grecia, era conocida como melikraton. Algunos pueblos del norte de Europa consumían esta bebida fermentada. En América las poblaciones mayas usaban una receta de hidromiel que contenía corteza del árbol Balche en el desarrollo de algunos rituales. En la antigüedad se asociaba a esta bebida alcohólica diversas propiedades medicinales, como la capacidad de curar infecciones estomacales, propiedades relajantes, energizante o incluso influir en el sexo del niño concebido bajo su influencia^[1].

En las culturas donde se consumía, esta bebida tenía una importante presencia en la mitología. Según la tradición maya esta bebida pertenecía a los dioses, por tanto, usarla en los rituales era una forma de acercarse a estos. La mitología nórdica explica como esta era la bebida preferida de Odín, cuenta además, que esta bebida provocó la aparición de la figura del poeta^[2]. También aparecen menciones a este producto en el Rig Vedá, uno de los cuatro textos en los que se basa la religión védica^[3].

A partir del siglo X el hidromiel dejó de ser una bebida popular en gran parte de Europa, gracias a la expansión de la cerveza y al incremento del cultivo de vides, quedando el consumo de este preparado reducido a las zonas del norte donde el clima no era propicio para cultivar las uvas^[4]. En la actualidad, esta bebida sigue teniendo una gran importancia en algunos países eslavos. Destacando el caso de Polonia, que emitió una petición a la Comisión Europea para reconocer y proteger el nombre de ciertas recetas tradicionales de hidromiel. En esta petición se recogen los rangos de ciertos ingredientes que puede contener una hidromiel si se acoge a uno de estos nombres, así como la forma en la que puede/debe elaborarse^[5]. En el año 2016 la CE aprobó dicha petición^[6].

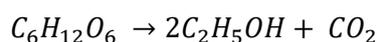
1.2 Características

Las características del hidromiel, tales como color, sabor, turbidez, etc. dependerán de numerosos factores. Entre estos se pueden contar (i) el tipo de miel del que proviene. (ii) La temperatura a la que se realiza la mezcla, a la que se produce la fermentación inicial y la temperatura de la fermentación lenta. (iii) La presencia de oxígeno molecular en los gases en contacto con el mosto (ya que si esto ocurre produce sabores indeseados). (iv) La proporción de agua en la mezcla. (v) La presencia de aditivos o la exposición a la luz. Y (vi) la presencia o no de tratamiento posterior, entre los que se pueden contar el envejecimiento del hidromiel en una barrica o la adición de floculante y posterior filtración.

A continuación, se hace un repaso más detallado de los factores mencionados. Del tipo de miel utilizado depende en gran medida el sabor final del producto, en función del origen de la miel (tipo y variedad de plantas de las que procede), la cantidad de azúcar que esta posee y la acidez; y el color final del hidromiel, que irá desde un color muy similar al del vino fino hasta el negro, a través de una diversidad “infinita” de colores ámbar. Si se añade alguna fruta a la elaboración el color del hidromiel podría verse afectado, por ejemplo, el hidromiel elaborado con frutas del bosque se aleja del ámbar antes mencionado y es de color

burdeos. La temperatura seleccionada para realizar la mezcla será 45°C, las razones para elegir esta temperatura son tres, la primera es que cuanto mayor sea la temperatura a la que se somete a la miel mayor presencia de hidroximetilfulfural habrá. Este compuesto en concentraciones mayores a 40 mg/kg de miel puede resultar tóxico, y a 45°C el aumento de este compuesto en la miel es mínimo; la segunda razón es que a la temperatura de mezcla elegida, la disminución en la viscosidad de la miel será muy pequeña por cada grado centígrado aumentado^[7]; y la tercera razón es que cuanto mayor sea la temperatura, mayor será el coste de operación. La temperatura de la fermentación inicial dependerá de la levadura utilizada, ya que el propio fabricante de la levadura debe indicar cual es el rango óptimo de temperatura. La levadura utilizada en este proyecto recomienda una temperatura entre 15-30°C^[8]. Se ha seleccionado una levadura de la marca Mangrove Jack's, concretamente la M05. Ha sido la elegida ya que según el propio fabricante sirve para cualquier tipo de hidromiel en un rango amplio de temperatura y con alta tolerancia al alcohol. Esta levadura produce una elevada cantidad de ésteres aportando sabores florales con envejecimiento en frío. El fabricante especifica una atenuación entre 95 y 100%, una floculación elevada y una tolerancia a 18% de alcohol¹. A mayor temperatura mayor velocidad de fermentación y mayor estrés para las levaduras, lo que podría provocar reacciones secundarias indeseadas. La temperatura de la fermentación lenta y del envejecimiento deberán ser menores que la de la fermentación primaria, en un rango entre 10°C y 15°C², ya que el objetivo es que evolucionen parte de los azúcares y algunos ácidos, produciendo la menor cantidad de alcohol posible sobre el generado en la primera fermentación. La presencia de oxígeno es indeseable, ya que se busca que se produzca una reacción de fermentación y no de respiración. La proporción de agua depende directamente de la receta e influye directamente en el resultado final del hidromiel producido. El uso de aditivos es altamente recomendable, ya que la miel, por sí misma, debido a su alto contenido en azúcar puede no fomentar un ambiente propicio para el desarrollo de las levaduras, por lo que ciertos compuestos mejorarán el contenido nutricional del entorno para los microorganismos encargados de la fermentación. Entre los compuestos utilizados encontramos algunas sales de amonio que sufrirá transformaciones químicas hasta convertirse en nitrógeno asimilable por las levaduras, y ácido tartárico (en ocasiones se utilizan otros ácidos), con el objetivo de generar un ambiente más propicio para las levaduras (entre 4 y 5 pH)^[9]. Aunque no siempre será necesario, ya hay muchas mieles cuyo pH se encuentra en ese rango de forma natural. Por último, la adición de floculantes y filtración posterior podría evitarse si la fermentación secundaria goza del tiempo suficiente, ya que en este caso las levaduras muertas precipitarán por sí mismas y el hidromiel no presentará turbidez. En el caso de la producción industrial de esta bebida la posibilidad de un envejecimiento suficientemente prolongado en el tiempo exige disponer de espacio para ello, y esto no siempre ocurre.

Si las condiciones de temperatura, nutrición de las levaduras y presencia de oxígeno molecular están dentro de las condiciones antes mencionadas, la reacción principal que ocurrirá, de manera simplificada, es la siguiente:



Paralelamente se dan un elevado número de reacciones secundarias que variarán en función de los parámetros descritos en el párrafo anterior.

Aunque los principales elementos son agua, azúcar y alcohol, existe un amplio abanico de sabores posibles que dependerán de las reacciones secundarias que ocurran en el proceso. Entre los grupos de compuestos orgánicos que más influyen en el resultado final se encuentran los ácidos y ésteres. La diferencia entre los tipos de estos que haya presentes y la proporción en la que estén, determinarán el sabor del hidromiel obtenido. Correspondería a una fase experimental determinar cuál es el resultado deseado para la planta que se está proyectando en este trabajo.

En definitiva, una temperatura que se sale del rango recomendado, la presencia de oxígeno o un defecto de nutrientes, propiciará reacciones indeseadas y compuestos que dan lugar a un resultado desagradable. Por otro lado, el tiempo y la forma en la que se realice la fermentación secundaria determinará los matices finales del sabor del hidromiel y si existen o no sólidos en suspensión en el producto final.

¹ Este hidromiel se ha utilizado en elaboraciones personales, y si bien el resultado es bueno el nivel de atenuación alcanzado no es el que indica el fabricante, por lo que sería recomendable hacer ensayos previos.

² Este rango de temperatura se basa en la experiencia personal de elaboración más cata. Una temperatura alrededor de 12°C para el proceso de envejecimiento da lugar a un hidromiel de sabores equilibrados.

1.3 Tipos de hidromiel y materias primas.

Pese a que a las materias primas básicas del hidromiel son solo tres, existe una gran diversidad de recetas que se pueden elaborar bajo el nombre de hidromiel añadiendo diversos ingredientes en distintas proporciones (ver tabla 1.1). Desde el hidromiel tradicional hasta el Capsicumel. A continuación, se enumeran algunas de las recetas más típicas^{[10][11]3}:

- Tradicional: Una mezcla de agua, miel y levaduras en una proporción de 1/3 v/v de miel por 2/3 v/v de agua. Existen variaciones de la tradicional que no conlleva adición ni tratamiento previo o posterior, sino que simplemente varían las proporciones:
 - Czwórniak: Hidromiel típica polaca con 3/4 v/v de agua por 1/4 v/v de miel. Es sobre la que se desarrolla este trabajo, ya que al contener mayor cantidad de agua es más barata de elaborar.
 - Dwójniak: Es un tipo de elaboración, también de tradición polaca, que contiene 1/2 v/v de miel y 1/2 v/v de agua.

Añadiendo ingredientes diferentes al hidromiel Tradicional o alguna de sus variantes:

- Melomel: Nombre que recibe cualquier hidromiel para cuya elaboración se haya empleado fruta o zumo de frutas. En algunos casos el hidromiel recibe un nombre propio que especifica qué tipo de fruta se ha utilizado. Estos hidromieles siguen perteneciendo al grupo de los Melomel. Algunos ejemplos de esto son:
 - Cyser: Reciben este nombre los hidromieles a las que se añaden manzana o zumo de manzana.
 - Morat: Denomina a aquellos hidromieles para cuyas elaboraciones se usan moras.
 - Hidromiel negro: Recibe este nombre si se utilizan grosellas negras.
 - Omphacomel: Hace referencia a hidromieles que contienen zumo de uva. Si en vez de zumo de uva contiene vino se llama Pymment.
- Metheglin: Es un hidromiel que se elabora con especias, aunque también se incluyen en este grupo aquellas elaboraciones que contienen hierbas aromáticas.
- Hippocras: Una combinación de uvas y especias.
- Braggot: Son hidromieles que contienen malta, lúpulo o ambos.
- Rhodomel: Es un tipo de hidromiel que se elabora con pétalos de rosa.
- Capsicumel: Es el grupo al que pertenece un hidromiel en el que se ha utilizado algún tipo de guindilla, pimiento o chile que aporte picante.
- Oxymel: El hidromiel se mezcla con vinagre de vino.
- T'ej: Receta originaria de Etiopía que contiene hojas y ramas del espinillo de hoja brillante.

Hay otras recetas que se diferencian de la Tradicional por el tratamiento anterior o posterior que se hace de las materias primas o del producto final en cada caso:

- Hidromiel corta: Utiliza métodos de envejecimiento alternativos para reducir el tiempo de elaboración.
- Gran hidromiel: Sigue una filosofía totalmente contraria a la “Hidromiel Corta”.

³ Ambas fuentes se disponen de forma conjunta para facilitar la clasificación de los tipos de hidromieles en función de sus características, independientemente de la fuente de la que hayan sido tomadas. Además, algunas de los hidromieles mencionados aparecen en las dos fuentes.

- Espumoso: Al igual que en los vinos, se llama así a los hidromieles que contienen burbujas.
- Bochet: Para la elaboración de este preparado la miel se carameliza antes de realizar la elaboración. Existe una variedad de Bochet:
 - Bochetomel: A un hidromiel tipo Bochet se le añaden frutas del bosque.

Nombre	Ingredientes	Subtipos destacables	Características diferenciadoras	Observaciones
Tradicional	Agua, levadura y miel.	Czwórniak	3/4 v/v agua - 1/4 v/v miel	El sabor se determina con la proporción de agua-miel.
		Dwójniak	1/2 v/v agua - 1/2 v/v miel	
Añaden ingredientes distintos.				
Melomel	Agua, levadura, miel y frutas.	Cyser	Manzana o zumo de manzana.	Este tipo de hidromiel admite la mezcla con varios tipos de frutas o zumos de frutas.
		Morat	Moras	
		Negro	Grosellas negras	
		Omphacomel	Zumo de uvas	
		Pyment	Vino	
Metheglin	Agua, miel, levadura y especias.	-	-	Hidromieles elaborados con hierbas aromáticas, cáscaras o frutos secos también se incluyen en este grupo.
Hippocras	Añade uvas y especias.	-	-	-
Braggot	Añade malta, lúpulo o ambas	-	-	-
Rhodomel	Pétalos de rosa	-	-	-
Capsicumel	Hidromieles picantes	-	-	Para este tipo de hidromiel se utilizan guindillas, pimientos o chiles.
Oxymel	Agrega vinagre de uvas	-	-	-

T'ej	Hoja/rama de espino cervical de hoja brillante	-	-	Este hidromiel es típico de Etiopía.
Se diferencian en el tratamiento				
Hidromiel corta	Fermentación rápida	-	-	Se le da poco tiempo de fermentación y el sabor se asimila a la cerveza.
Gran hidromiel	Fermentación larga	-	-	-
Espumoso	Con burbujas	-	-	Al igual que el vino espumoso contiene burbujas generadas mediante una última fermentación en la propia botella.
Bochet	Se carameliza la miel antes de iniciar el proceso de fermentación	-	-	La bochetomel es una variación de esta a la que se añade frutas del bosque.

Tabla 1.1 Tipos de hidromiel y sus características principales.

2 OBJETIVOS

Se pretende determinar mediante este estudio la viabilidad económica de una fábrica de hidromiel que produce 70.000 L/año. Para este trabajo se ha establecido que dicha fábrica se encuentra en Sevilla.

Para esto, se determina mediante balances de materia, a que ritmo debe producirse el hidromiel para alcanzar la base de cálculo autoimpuesta. Se determina también las materias primas necesarias para cumplir con la producción establecida mediante dichos balances. De este modo se pueden conocer las dimensiones de los equipos en los que se va a llevar a cabo y determinar un coste aproximado de estos.

Posteriormente se establecerá las condiciones de temperatura que deben alcanzarse en las distintas fases de la producción, y mediante una comparativa con la temperatura media del lugar en el que se produce dicho hidromiel se pueden calcular las necesidades de aporte o retirada de calor. De este modo se puede establecer el gasto energético y como deben ser los equipos en los que ocurren estos procesos. Esto permite calcular una parte de los costes de capital y de operación.

Por último, se llevará a cabo una serie de balances de presión para distintos tramos del proceso, determinando con qué tipo de bombas se operará, lo que permitirá conocer el coste de estas.

En base a lo expuesto en los apartados anteriores se podrá hacer un cálculo de los costes de operación y de los costes de capital del conjunto del sistema de producción.

Finalmente, se establecerá un precio de venta para el producto fabricado. Comparando los ingresos procedentes de la venta del total de los litros producidos con los costes previamente calculado se deduce el tiempo de retorno de la inversión y la rentabilidad de la operación, consiguiendo así el objetivo de este trabajo.

3 DIAGRAMAS DE PROCESOS

3.1 Justificación base de cálculo

Se ha consultado a varias empresas para saber cuál es la producción típica en España. De las empresas que han contestado (Valhalla y Rasmia) los valores son dispares, siendo la mayor producción 50.000 L/año. Para que esto suponga un ejercicio de cálculo y mejora, se realizará este trabajo con una base de producción de 70.000 L/año. Ante la dificultad para tener acceso a los datos económicos relacionados con la producción de 50.000 L/año, se ha realizado en el ANEXO I una aproximación económica siguiendo el diseño de este trabajo, pero escalado para esta cantidad, a fin de poder realizar una comparación con la producción de 70.000 L/año.

3.2 Diagrama de procesos

En este apartado se pretende proporcionar un conocimiento global del proceso a nivel cualitativo. Una vez concluido esto, en los apartados posteriores: “Balance de Materia” y “Balance de Energía” se analizará el proceso de forma cuantitativa, determinando que caudal existirá en cada corriente y justificando los resultados. Pese a esto, en la tabla presente al final de este apartado se muestran los caudales, temperaturas y presiones de las corrientes principales y, los caudales y temperaturas de las corrientes auxiliares. Se hace así para mostrar toda la información de un modo más compacto, pese a que el análisis cuantitativo de las corrientes se llevará a cabo en apartados posteriores.

Con el objetivo de que se conozca el proceso se explican a continuación los distintos pasos de los que consta la fabricación de hidromiel. Una vez desarrollados estos pasos se muestra un diagrama de bloque (Figura 3.1) Este diagrama irá seguido por otros diagramas de procesos, estos serán, por orden, diagrama de las corrientes y equipos principales (Figura 3.2), diagrama de corrientes auxiliares (Figura 3.3) y diagrama global (Figura 3.4).

El hidromiel que se producirá en este proceso será seco, con una proporción de 1/4 v/v de miel por 3/4 v/v de agua, dando lugar a un hidromiel de tipo Czwórniak. Se ha elegido esta proporción por el coste reducido del agua frente a la miel.

En este caso, el hidromiel se producirá con agua de red, por ser de fácil acceso y ser válida para esta elaboración⁴. Una vez tomada el agua se hará pasar por un filtro de carbón activo para eliminar el cloro presente. De esta forma, el entorno será más propicio para el desarrollo de las levaduras. Como efecto secundario, la eliminación del cloro también elimina el riesgo de sabores desagradables asociados a este. Una vez eliminado el cloro, el agua se almacena. Se hace de este modo en vez de llevar el agua directamente al proceso porque su requerimiento es irregular a lo largo del tiempo. Dicho tanque permite tratar el agua a un ritmo distinto al de uso, de esta forma, para un mismo volumen de agua necesaria el caudal de tratamiento

⁴ La empresa Valhalla usa agua de red de Sevilla.

puede ser menor, siendo más pequeño el equipo que contiene el carbón activo y, por tanto, de menor coste. El agua almacenada se usará para la elaboración del hidromiel y para las corrientes auxiliares. A efectos de la eliminación del cloro, las corrientes auxiliares son prácticamente despreciables, ya que el caudal es significativamente menor que el del proceso y dichas corrientes forman parte de un circuito cerrado, donde un mantenimiento adecuado que minimice las pérdidas debería reducir notablemente la necesidad de reponer agua para las corrientes auxiliares.

Se asume que la miel se comprará a una industria envasadora, por lo que vendrá lista para el consumo, es decir, filtrada y libre de impurezas propias de su proceso de recolección (cera, abejas muertas, etc). Por esta razón la miel puede almacenarse directamente una vez recibida. Dado que las cantidades de miel con las que se trabaja son pequeñas, la empresa que proporcione el hidromiel podría enviarla directamente en depósitos IBC, esto eliminaría la necesidad de un tanque de almacenamiento de miel. En situaciones en las que la temperatura baja de un determinado valor, la miel puede cristalizar (la temperatura de cristalización dependerá del tipo y proporción de azúcar/es que contenga la miel, de la humedad de la miel y de la humedad del ambiente). Si esto ocurre será preciso licuarla para facilitar su manipulación, para lo cual se calienta la miel hasta los 45°C. La selección de esta temperatura ya se ha explicado en el apartado “Características”. La temperatura de la miel puede controlarse con un termopar. Si la miel se almacenara en un depósito IBC el calentamiento se realizaría mediante el uso de resistencias térmicas.

El agua y la miel se bombean hasta el tanque de mezcla. En un primer momento se añadirá el total de la miel y la mitad del agua que se utilizará. El agua restante se añadirá una vez concluido el proceso de mezcla miel-agua para enfriar así el contenido del tanque. Una corriente auxiliar se encarga de mantener 35°C durante el proceso de mezclado para que la miel siga siendo suficientemente líquida. El proceso de mezclado se alargará hasta que se consiga homogeneizar el contenido del tanque. El tiempo necesario para que la mezcla sea homogénea deberá determinarse mediante un ensayo en planta piloto o en la planta real. En este momento deja de aportarse calor al mezclador y se añade el agua restante para facilitar el proceso de enfriamiento. Finalmente, se espera que la temperatura de la mezcla sea de 30°C. Se ha elegido 30°C por ser la temperatura máxima recomendada por el fabricante de la levadura.

La levadura que seleccionada está “diseñada” a priori para hidromiel. Las dos diferencias principales con la levadura de cerveza es la graduación que deberá soportar la levadura y la acidez, ya que el hidromiel tendrá un pH menor que la cerveza. Si en algún caso no se pudiera acceder a levadura para hidromiel se puede probar levadura de vino tinto, ya que tanto el pH como la graduación alcohólica serán similares. Incluso en aquellos casos en los que la levadura de hidromiel otorga resultados satisfactorios se pueden probar levaduras de distintos tipos de vino para analizar las diferencias obtenidas en el sabor. La levadura de cerveza también podría ensayarse si se busca un hidromiel de baja graduación si la miel que se utiliza no es excesivamente ácida.

Se conduce ahora la mezcla hasta uno de los cuatro tanques dispuestos para la primera fermentación del mosto. Una vez en el tanque se añade la levadura manualmente. Se hace manualmente porque es un proceso que puede realizar una persona, se realiza tan solo cuatro veces al mes y de este modo se salvan las dificultades de operación y mantenimiento asociadas al transporte de sólidos. Los tanques en los que se lleve a cabo la fermentación deben disponer de un sistema por el cual expulsar el exceso de gases y procurando que no entre aire, de esta forma se puede mantener la presión dentro del equipo pese a la generación de CO₂ y evitar la adición de O₂. El contenido del tanque debe mantenerse en un rango de temperaturas dado por el fabricante de la levadura, sin olvidar que cuanto menor sea la temperatura menor es el ritmo de fermentación. Por este motivo se ha elegido el rango térmico de 20-30°C. Se trabajará con un sistema de histéresis, de este modo el equipo encargado de calentar el agua para las corrientes auxiliares puede ser más pequeño (es decir, menor caudal y menor potencia) lo que reduce su coste. Para ello se lleva la mezcla hasta los 30°C y luego se deja ir hasta los 20°C, momento en el cual vuelve a aportarse calor al reactor. Para aumentar el tiempo transcurrido entre fases de calentamiento los tanques irán aislados térmicamente. La temperatura se vigila mediante un termopar conectado a un display, de esta forma, un operario puede poner en funcionamiento el sistema que proporciona agua fría o caliente a los circuitos de corrientes auxiliares⁵. Esta primera fermentación se estima en un mes de duración, aunque puede variar según las condiciones, por lo que sería

⁵ En el apartado de balance de energía se puede observar que con planteamiento expresado no tendría sentido el coste de un sistema para un control automático de la temperatura.

necesario un ensayo para determinar el tiempo exacto. A lo largo del tiempo que dura este proceso deberán tomarse muestras semanalmente y medir su peso específico. Cuando el resultado de una de estas mediciones sea igual al de la semana anterior se determina que esta fase del proceso ha finalizado^[12]. El peso específico esperado al final de este proceso dependerá de la proporción de agua y miel, es decir, de la receta. A continuación, se muestra en la tabla 3.1, los rangos de peso específico según el tipo de hidromiel Tradicional del que se trate^[13]:

Tipo de hidromiel	Rango de peso específico (kgf/L)
Hidromiel seco	0,099-1,006
Hidromiel semi-seco	1,009-1,015
Hidromiel dulce	1,012-1,020
Postre	>1,020

Tabla 3.1 Rangos de peso específico según tipo de hidromiel

En cualquier caso, una vez terminado este proceso se realiza el trasiego al segundo tanque. En el segundo tanque, la temperatura deberá ser menor para reducir la velocidad de los procesos fermentativos de la levadura. La temperatura será la indicada en el apartado características (entre 10°C y 15°C). De esta forma, mientras ciertos ésteres, azúcares y ácidos continúan su evolución, la producción de alcohol es mucho más pequeña. Para alcanzar dicha temperatura, en los meses más calurosos (entre mayo y septiembre), será necesario enfriar la camisa de los tanques, esto se hará mediante corrientes auxiliares de agua fría. El objetivo de esta fase es mejorar el sabor del producto final y obtener un hidromiel sin turbidez. El tiempo necesario para alcanzar este objetivo puede depender de las condiciones ambientales y de la miel, por lo que sería necesario un ensayo en planta piloto o en la planta real. Idealmente, este proceso se prolongaría en el tiempo tanto como el hidromiel tarde en clarearse. Pero en este caso solo estará en proceso de envejecimiento dos meses, ya que cada mes extra exigiría un tanque extra, lo que requeriría más espacio y más gasto. Si pasado el tiempo disponible para el envejecimiento la turbidez persiste deberá utilizarse un agente clarificador (cola de pescado, gelatina, bentonita, etc.). La elección del agente utilizado se determinará por un ensayo que marque la carga eléctrica de los residuos en suspensión^[14]. Una vez realizado el tratamiento clarificador y comprobado que el resultado es satisfactorio se realiza un trasiego al tanque previo al embotellado. En este trasiego se hace pasar el hidromiel por un filtro. La presencia del filtro es preventiva, ya que, si se realiza la clarificación correctamente, tomando el líquido por encima de la cota de los posos no deberían quedar elementos en suspensión. En cualquier caso, el filtro utilizado dependerá del tipo de agente clarificador ya que el tamaño de los flóculos puede depender de este.

En el tanque previo al embotellado se pueden tomar muestras para catas o para comprobar que, efectivamente, el hidromiel ha quedado cristalino. La cata, en casos extremos podría determinar que el resultado final no es el deseado y que debe desecharse el producto obtenido, por ejemplo, evidencias en el sabor de contaminación del hidromiel.

Finalmente, si el resultado es el deseado se puede proceder al embotellado.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques del proceso descrito:

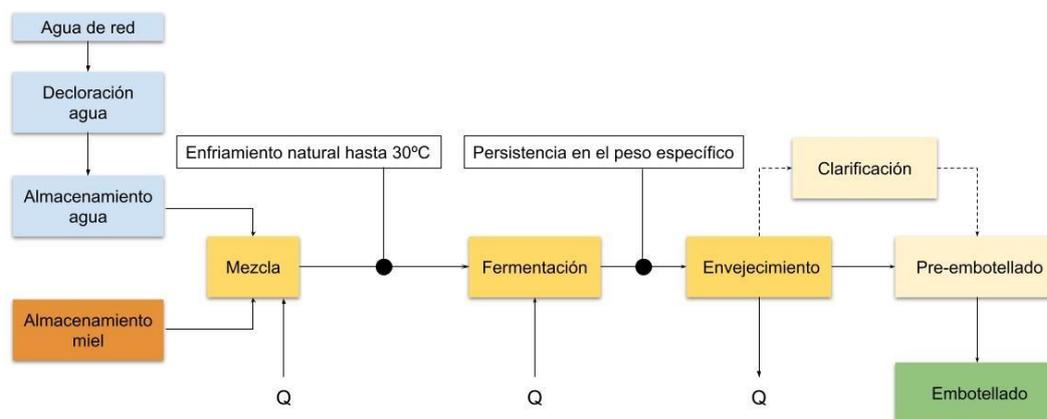


Figura 3.1 Diagrama de bloques del proceso.

La línea discontinua indica que esta operación no será necesaria en todos los casos. El proceso de “pre-embotellado” se llevaría a cabo tras el segundo trasiego, es la operación que incluye cata y comprobación de la turbidez del hidromiel.

En la figura 3.2 se muestra la sección del diagrama de procesos que incluye los equipos y corrientes principales. Dado que el proceso se explicó antes del diagrama de bloques, ahora se explicará la función que cumplen los distintos equipos y las corrientes.

Respecto a las bombas, la bomba B-1 se encarga de transportar el agua de red hasta el tanque de agua, venciendo la pérdida de carga asociada a la línea y la pérdida de carga de la columna de carbón activo. La B-2 lleva el agua desde el tanque de agua al tanque de mezcla. La B-3 lleva miel desde el tanque de almacenamiento de miel hasta el tanque de mezcla. La B-4 lleva la mezcla de agua y miel hasta los reactores de R-1 a R-4. La B-5 lleva el hidromiel de los tanques de la primera fermentación a los tanques de envejecimiento. La B-6 lleva la miel hasta el tanque de pre-embotellado.

La columna C-1 contiene el carbón activo por el que pasará el agua de red para eliminar el cloro.

El tanque T-1 contendrá el agua con el cloro ya eliminado. Alimentará de agua al proceso y a las corrientes auxiliares cuando sea necesario. El T-2 contiene la miel antes de su uso. El T-2 puede ser también un depósito IBC. El camión representa que la miel para el proceso será proporcionada por otra empresa. El tanque M-1 es donde se lleva a cabo la mezcla de agua y miel, dando lugar al mosto.

Los reactores de R-1 a R-4 contendrán el mosto para la primera fermentación, todos los reactores tienen las mismas características, por lo que es indiferente a cuál de ellos vaya el mosto. Usar varios tanques para la primera fermentación con las mismas características permitiría producir distintos tipos de hidromiel simultáneamente.

Los reactores de R-5 a R-12 están destinados al envejecimiento del hidromiel, y en caso necesario, al proceso de clarificación. Al igual que con los tanques de R-1 a R-4, todos los tanques de R-5 a R-12 tienen las mismas características. Existen el doble de tanques de envejecimiento que de tanques de fermentación para de esta forma poder duplicar el tiempo de envejecimiento.

El tanque T-3 servirá como último punto de control previo al embotellado. De este tanque se tomarán las muestras para la cata de olor y sabor, y para comprobar la turbidez por última vez antes del embotellado.

En la embotelladora E-1 el hidromiel se embotella. Después de este punto las botellas se empaquetan manualmente si fuera necesario.

Las corrientes se muestran en detalle en la tabla al final de este apartado, la justificación de los caudales y las presiones se encuentran en los apartados de balances. Las corrientes 1 y 2 son agua de red. La corriente 3 es agua sin cloro para almacenar. Las corrientes 4 y 5 son agua que alimenta al proceso y a las corrientes auxiliares. La corriente 6 es agua para la fabricación del mosto. La corriente 7 expresaría el paso de la miel hasta el tanque de almacenamiento, esta corriente no existirá si se utilizan depósitos IBC. La corriente 8 alimenta de miel al proceso. La corriente 9 lleva el mosto del tanque de mezcla hasta los reactores donde

fermentarán. Existen las corrientes 9.a a 9.d porque, aunque físicamente son corrientes distintas, todas tienen la misma función, con el mismo caudal y las mismas presiones. Todas ellas llevarán mosto y nunca funcionarán simultáneamente. La corriente 10 recogerá el hidromiel de los primeros tanques de fermentación hasta la bomba, por la misma razón que en la corriente 9 existen las corrientes 10.a a 10.d, como también ocurrirá con la corriente 12. La corriente 11 conduce el hidromiel hasta la corriente 12. La corriente 12 lleva el hidromiel a los tanques de envejecimiento. La corriente 13 recoge el hidromiel para llevarla a la bomba. La corriente 14 lleva el hidromiel al tanque de pre-embotellamiento. La corriente 15 lleva el producto final hasta el embotellado.

La función de las válvulas mostradas en el diagrama es poder seleccionar a que tanque va el mosto o el hidromiel, y asegurar que los líquidos fluyen en la dirección correcta.

A continuación, se puede ver el diagrama de los equipos y las corrientes principales:

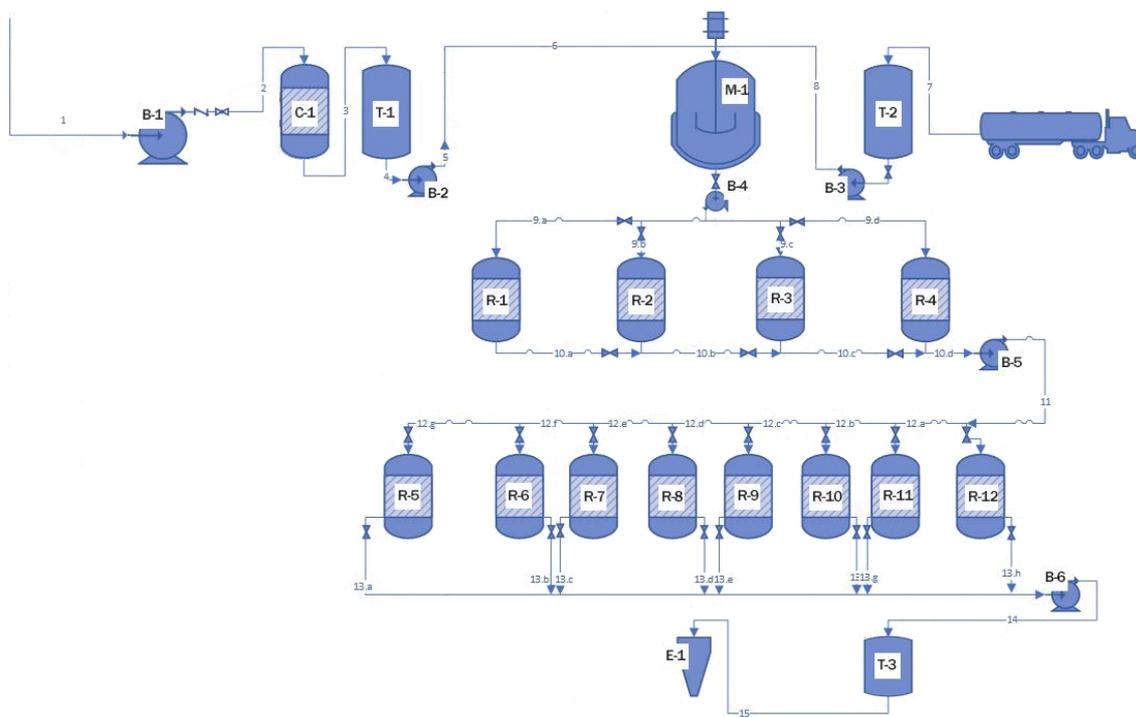


Figura 3.2 Diagrama de los equipos y las corrientes principales.

En la descripción del proceso se ha mencionado la necesidad de mantener ciertas fases del proceso dentro de un rango de temperatura, esto ocurre en el proceso de mezcla, la primera fermentación y el envejecimiento. El control de la temperatura se puede realizar mediante el uso de corrientes auxiliares de agua. Estas corrientes y los equipos con los que se relacionan se muestran en la figura 3.3.

El T-4 servirá como reserva para el agua de las corrientes auxiliares, de esta forma, cuando no se precise el uso de corrientes auxiliares no se desecha el agua, sino que se almacena para usos posteriores.

Las etiquetas C-1 y Ch-1 hacen referencia a un solo equipo funcionando en dos situaciones distintas, en algunos casos para calentar y en otros enfriar el agua respectivamente. De esta forma se consigue el agua a la temperatura que sea necesaria. Se representa en de esta forma para mostrar con más claridad la separación entre uno y otro circuito, mostrando una visión más evidente de la diferencia de objetivos con los reactores R.1 a R.4 y los reactores R.8 a R.12.

Respecto a las corrientes de agua caliente, la corriente 16 lleva el agua hasta el tanque de agua de corrientes

auxiliares, tomando el agua de la corriente 5. La corriente 18 conduce el agua del T-4 hasta la corriente 19. Esta última es la suma de la corriente 18 más la corriente 24, que recoge el agua que ya ha pasado por las camisas de los tanques. La corriente 20 lleva el agua calentada hasta cualquiera de las corrientes 21. Las corrientes 21.a a 21.d llevan el agua hasta la camisa de los tanques de fermentación. Se recoge en la corriente 22.a a 22.d. La corriente 23 llevan el agua hasta un punto donde retornará al circuito de calentamiento de los reactores a través de la corriente 24 o irá por la corriente 25, que lleva el agua hasta el tanque de agua de corrientes auxiliares.

Las corrientes de agua fría comienzan en la corriente 27, que lleva el agua hasta el chiller. Salen de este por la corriente 28, que lleva el agua a cualquiera de las variantes de la corriente 29 (desde 29.a hasta 29.h.) Una vez pasa el agua por la camisa del tanque de envejecimiento, se recoge en la corriente 30. La corriente 30 lleva el agua hasta la corriente 31, y esta, a la corriente 23, desde donde puede reutilizarse o enviarse al tanque de agua de corrientes auxiliares.

Las válvulas en este caso sirven para seleccionar por que corriente queremos que vaya el agua.

A continuación, se puede ver el diagrama de las corrientes auxiliares:

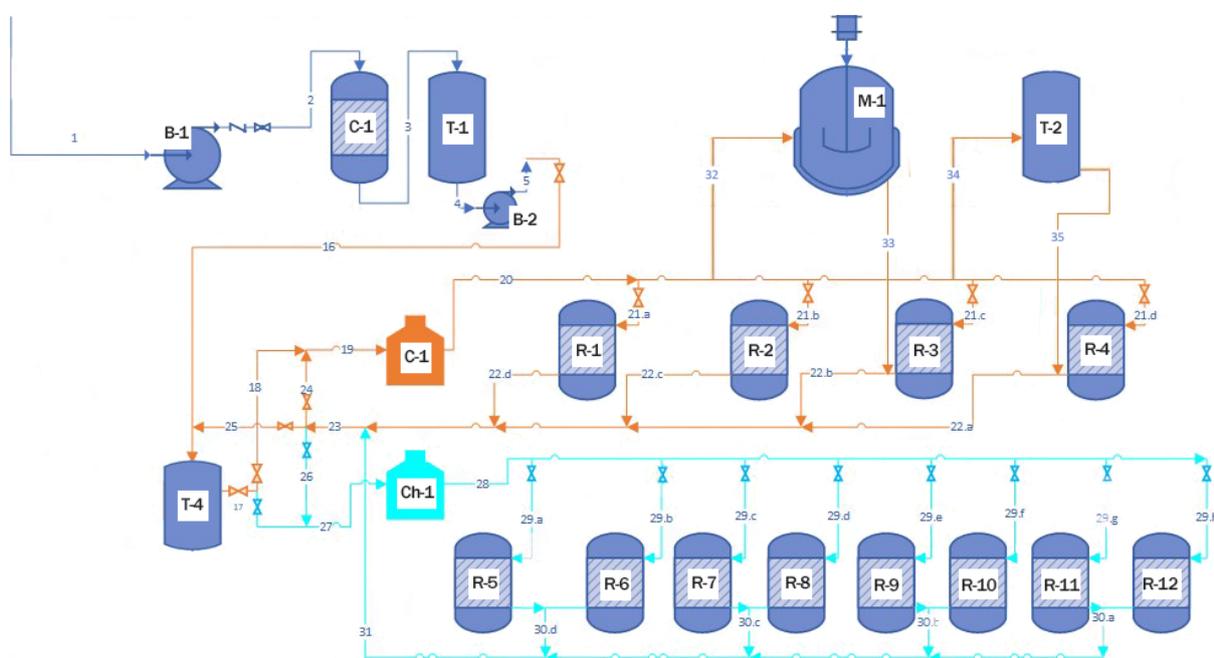


Figura 3.3 Diagrama de corrientes auxiliares.

En la figura 3.3 se muestran los diagramas de las figuras 3.1 y 3.2 superpuestos. Mostrando un diagrama global del proceso.

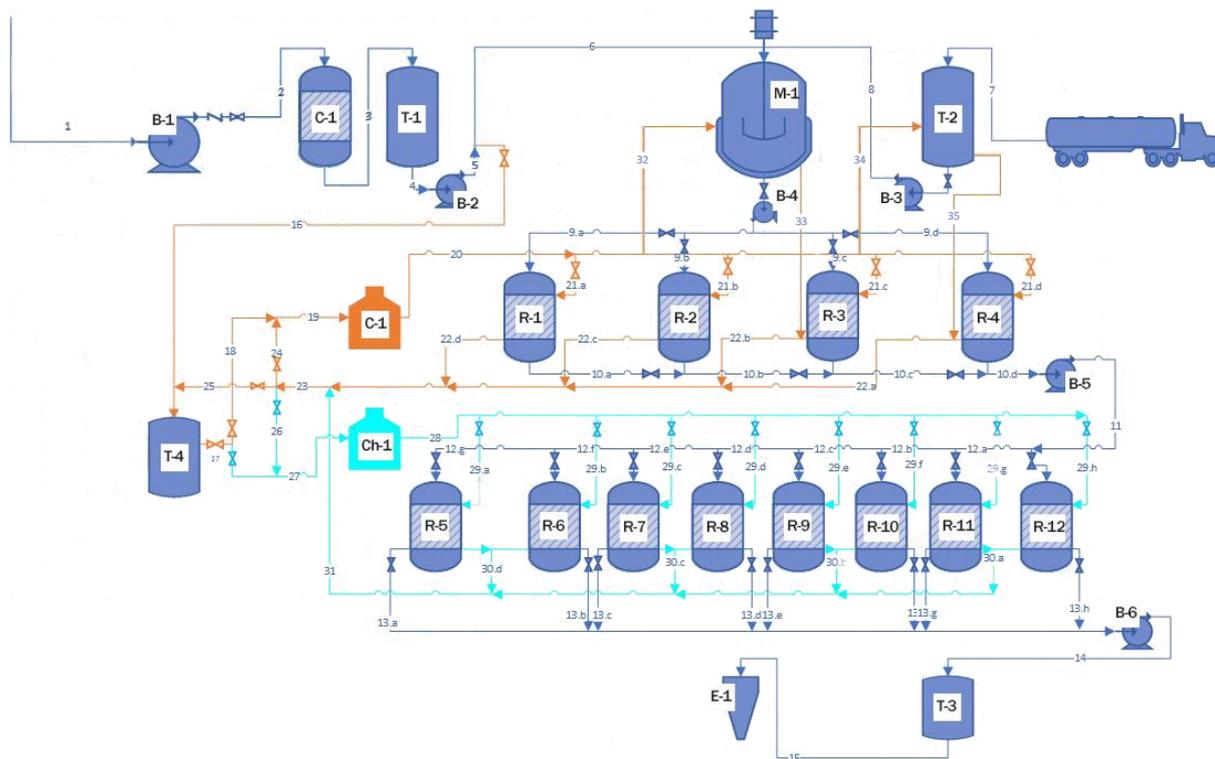


Figura 3.4 Diagrama global del proceso.

A continuación se muestra una tabla que contiene todas las corrientes con sus correspondientes caudales, temperaturas, presiones máximas, diámetros y presiones de diseño. El caudal y el diámetro interior se determinan en el apartado de “Balance de materia”, la temperatura se determina en el apartado “Balance de energía” y la presión máxima se determina en el apartado de “Balance de presiones”. Pese a que se justifica el contenido en apartados posteriores, se muestra aquí la tabla para tener toda la información de manera compacta. Cabe aclarar que la diferencia entre agua de red y agua es que la última ha sido tratada para eliminar el cloro.

Nº Corriente	Contiene	Q(l/s)	T _{máx} (°C) ⁶	P op. (bar)	Tuberías	
					Ø _{ext} (plg.)	Schedule
1	Agua red	0,111	Ambiente	1	1	5
2	Agua red	0,111	Ambiente	1	1	5
3	Agua	0,111	Ambiente	1	1	5
4	Agua	0,17	Ambiente	1	1/8	5
5	Agua	0,17	Ambiente	1	1/8	5
6	Agua	0,17	Ambiente	1	1/8	5
7	Miel	0,17	45	1	1/8	5
8	Miel	0,17	45	1	1/8	5

⁶La temperatura ambiente hace referencia a que el agua transportada en estas corrientes no tiene acondicionamiento térmico durante el almacenamiento ni el transporte.

9	Mosto	0,25	30	1	1/4	5
10	Hidromiel	0,17	30	1	1/8	5
11	Hidromiel	0,17	30	1	1/8	5
12	Hidromiel	0,17	30	1	1/8	5
13	Hidromiel	0,17	15	1	1/8	5
14	Hidromiel	0,17	15	1	1/8	5
15	Hidromiel	0,17	15	1	1/8	5
16	Agua	0,17	Ambiente	1	1/8	5
17	Agua	0,17	Ambiente	1	1/8	5
18	Agua	0,17	Ambiente	1	1/8	5
19	Agua	0,17	Ambiente	1	1/8	5
20	Agua	0,17	50	1	1/8	5
21	Agua	0,17	40	1	1/8	5
22	Agua	0,17	30	1	1/8	5
23	Agua	0,17	30	1	1/8	5
24	Agua	0,17	30	1	1/8	5
25	Agua	0,17	30	1	1/8	5
26	Agua	0,17	10	1	1/8	5
27	Agua	0,17	Ambiente	1	1/8	5
28	Agua	0,17	0,9	1	1/8	5
29	Agua	0,17	0,9	1	1/8	5
30	Agua	0,17	10	1	1/8	5
31	Agua	0,17	10	1	1/8	5
32	Agua	0,17	50	1	1/8	5
33	Agua	0,17	35	1	1/8	5
34	Agua	0,17	50	1	1/8	5
35	Agua	0,17	45	1	1/8	5

Tabla 3.2 Tabla de las corrientes del proceso.

4 BALANCE DE MATERIA

En este apartado se expresará cuantos lotes se prepararán mensualmente partiendo de la producción anual. Conocidos los lotes se podrá determinar el volumen de los equipos necesarios. También se expresarán y explicarán los cálculos de las corrientes principales del proceso.

Para determinar los lotes necesarios y las características de estos, lo primero a considerar es que la producción anual será 70.000 L/año. La producción será homogénea a lo largo del año, por lo que mensualmente se producirán:

$$\frac{70000}{12} = 5833 \text{ L/mes}$$

La producción mensual se preparará en 4 lotes diferentes. Se divide en cuatro lotes por una relación de compromiso entre el espacio ocupado por los equipos y la versatilidad. Dividirlo en cuatro lotes permitiría producir cuatro recetas distintas si fuera necesario y en caso de que un lote resulte defectuoso no se perdería la producción mensual total. Por otro lado, cuanto más dividida esté la producción más equipos serán necesarios, aunque estos sean más pequeños. Puesto que la producción mensual se divide en cuatro lotes, el volumen producido en cada lote será:

$$\frac{5833}{4} = 1458 \text{ L/lote}$$

A modo de compensación por las pérdidas debidas a los trasiegos y las tomas de muestras a lo largo del proceso se van a producir lotes de 1.500 L. Como se ha expresado en el apartado anterior, la receta básica que se utilizará será 3/4 v/v de agua por 1/4 v/v de miel. Aplicando esta proporción al volumen de cada lote se pueden determinar los litros de agua (L_a) necesarios para cada lote y, por tanto, para cada mes:

$$1500 \cdot \frac{3}{4} = 1125 \text{ L}_a/\text{lote}$$

Lo mismo ocurre con los litros de miel (L_m):

$$1500 \cdot \frac{1}{4} = 375 \text{ L}_m/\text{lote}$$

Estos cálculos permiten establecer el volumen de algunos equipos. El tanque de almacenamiento de agua será de 2.000 L, de esta forma se puede tratar y almacenar agua para preparar un 177% de un lote, es decir, se puede preparar un lote y quedaría agua almacenada para 1/3 del lote siguiente o para suministrar agua al circuito de corrientes auxiliares. Durante la elaboración de un lote se puede preparar el agua para el siguiente, de esta forma, no es necesario que el tanque de agua tenga almacenada en todo momento el agua para la producción mensual, reduciendo así su tamaño. Por el caudal mínimo impuesto como ya se expresó anteriormente, no se espera que las corrientes auxiliares requieran un suministro constante de agua, por lo que no se considera a la hora de dimensionar el tanque de almacenamiento de agua clorada. Respecto al almacenamiento de miel, se dispondría un tanque de 1.500 L, de esta forma solo se precisaría un suministro de miel al mes. El tanque de mezcla se llenará al 80%, de esta forma se puede albergar el aumento del nivel del líquido por efecto del mezclador. Los tanques de fermentación, envejecimiento y pre-embotellado podrán ser de 1.500 L, asegurando en los tanques de fermentación y envejecimiento la correcta evacuación de CO_2 sin que entre O_2 del aire, utilizando, por ejemplo, air lockers.

Para el cálculo de las corrientes se han agrupado aquellas que comparten las mismas características (mueven el mismo volumen, caudal, mismos tipos de tuberías, etc.). En todas las corrientes se utilizará la tubería

estándar más pequeña, es decir, 1/8" Schedule 5. En los casos en que esta no puede utilizarse se expresa en el apartado específico de la corriente correspondiente.

A continuación, se muestran los apartados donde se calculan las características de las corrientes.

4.1 Corrientes 1,2 y 3

Las corrientes 1, 2 y 3 son las que conforman la conducción del agua de red al equipo para eliminar el cloro y, posteriormente, al tanque T-1. El elemento limitante en este grupo de corrientes es el equipo para eliminar el cloro. El equipo que se ha tomado como referencia^[15] (modelo 56F705AC) tiene como caudal mínimo 400 L/h. También marca que la entrada y salida es 1", lo que marca que las tuberías que llevan el agua y la transportan hasta el tanque serán también de 1". Para que el coste de la tubería sea el menor posible se ha elegido la tubería 1" Schedule 5^[16].

Con estos parámetros fijados se calcula la velocidad del fluido:

Diámetro interior de la tubería:

$$\phi_{ext} - grosor tubería = 1,315 - 0,065 = 1,25" = 0,03m \quad (Ec 4.1)$$

Área sección:

$$\frac{0,03^2 \cdot \pi}{4} = 0,0007m^2 \quad (Ec 4.2)$$

Combinado con el caudal:

$$400 \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{1000} \left(\frac{L}{h} \frac{m^3}{s} \right) = 0,00011 m^3/s$$

Velocidad del fluido:

$$\frac{0,00011}{0,0007} = 0,15 m/s \quad (Ec 4.3)$$

La velocidad del fluido es admisible, es decir, entra dentro de los rangos de las velocidades estándar para transporte de líquidos. Por lo que el tipo de tubería elegido puede considerarse válido para las corrientes 1, 2 y 3. Este resultado está recogido en la tabla del apartado de "Diagrama de procesos".

4.2 Corrientes 4,5 y 6

Las corrientes 4 y 5 conducen el agua tanto al tanque de mezcla (M-1) a través de la corriente 6 como al tanque de reserva de agua para las corrientes auxiliares (T-4). En condiciones normales el uso mayoritario de las corrientes 4 y 5 será para conducir agua al tanque M-1 a través de la corriente 6. Además, en el otro uso el caudal transportado será menor, por esta razón, los cálculos se harán basado en el primer caso mencionado.

En este caso, no hay ningún equipo que limite un caudal mínimo. Por lo que se marcará una velocidad típica para los líquidos dentro de tuberías y se comprobará el tiempo total de la operación.

Como se indicó anteriormente, la tubería seleccionada por defecto será 1/8" Schedule 5. Se tomará como velocidad típica de un líquido en una tubería 2,4 m/s^[17]. Fijados estos parámetros se calcula el tiempo total que tomará la operación de transporte de agua al tanque de mezcla.

Diámetro interior de la tubería:

$$\phi_{ext} - grosor tubería = 0,405 - 0,035 = 0,37" = 0,009m$$

Área sección:

$$\frac{0,009^2 \cdot \pi}{4} = 0,000069m^2$$

Cálculo del caudal:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad} &= 2,4 \text{ m/s} \\ 0,000069 \cdot 2,4 \cdot \frac{1000}{1} \left(m^2 \frac{m}{s} \frac{L}{m^3} \right) &= 0,16 \text{ L/s} \end{aligned}$$

El agua para la elaboración de un lote se transportará en dos veces. Para el lote se requieren 1.125 L, por lo que se puede considerar que se dan dos operaciones de transporte de 562,5 L de agua.

El tiempo que conllevaría cada operación sería:

$$\frac{562,5}{0,16} \cdot \frac{1}{60} \left(\frac{L}{L/s} \frac{min}{s} \right) = 58 \text{ min} \quad (\text{Ec 4.4})$$

Con una duración de 0,90h es viable realizar la operación usando tuberías 1/8" Schedule 5.

4.3 Corrientes 7 y 8

Son las corrientes que llevan la miel hasta el tanque M-1. Utilizando una tubería 1/8" Schedule 5 y una velocidad del líquido de 2,5 m/s se calcula el tiempo total de la operación:

Diámetro interior de la tubería:

$$\varnothing_{ext} - \text{grosor tubería} = 0,405 - 0,035 = 0,37" = 0,009m$$

Área sección:

$$\frac{0,009^2 \cdot \pi}{4} = 0,000069m^2$$

Cálculo del caudal:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad} &= 2,4 \text{ m/s} \\ 0,000069 \cdot 2,4 \cdot \frac{1000}{1} \left(m^2 \frac{m}{s} \frac{L}{m^3} \right) &= 0,16 \text{ L/s} \end{aligned}$$

Hay que transporta 375 L de miel. Por lo que el tiempo de la operación sería:

$$\frac{375}{0,16} \cdot \frac{1}{60} \left(\frac{L}{L/s} \frac{min}{s} \right) = 39 \text{ min}$$

Con una duración de 0,61 h es viable realizar la operación usando tuberías 1/8" Schedule 5.

4.4 Corriente 9

La corriente 9 transporta el mosto desde el tanque M-1 a los reactores de fermentación (R-1 a R-4). A diferencia de las anteriores esta corriente tendrá una limitación de tiempo. De acuerdo con los cálculos mostrados en los subapartados anteriores se tardará 58 min. en transportar el agua hasta el mezclador (paralelamente se transporta la miel, por lo que no se considera para el tiempo total de la producción del mosto). Posteriormente se aporta la segunda tanda de agua a la mezcla, esto conlleva otros 58 min⁷. Considerando 30 min. para limpiar el tanque de mezcla, la suma total de tiempos aproximada resulta en 2 h

⁷ Mientras se está aportando agua y miel de la primera tanda, o agua de la segunda tanda, el mezclador estaría en funcionamiento, por lo que no se le otorga un tiempo exclusivo para operar.

30 min. Para el vaciado del tanque de mezcla se impone 1 h 30 min. De esta forma el tiempo total para formar el mosto, vaciar el tanque y limpiarlo sería de 3 h. Considerando estos tiempos, se pueden fabricar los 4 lotes mensuales en dos jornadas⁸.

Partiendo del factor limitante de tiempo se calculará el caudal necesario para vaciar 1.500 L. Imponiendo de nuevo la velocidad del fluido dentro de la tubería como 2,4 m/s, se obtendrá el área de la sección. Este resultado determinará el diámetro de la tubería que deberá utilizarse en esta operación.

Tiempo para realizar la operación:

$$1,5 \cdot 3600 = 5400 \text{ s}$$

Caudal:

$$\frac{1500}{5400} = 0,27 \text{ L/s} = 2,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{Ec 4.5})$$

Sección de la tubería:

$$\frac{2,78 \cdot 10^{-4}}{2,4} = 1,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{Ec 4.6})$$

Diámetro de la tubería:

$$\sqrt{\frac{4 \cdot 1,16 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0,012 \text{ m} = 0,47'' \approx 1/2'' \quad (\text{Ec 4.7})$$

La tubería con el diámetro interior más cercano a este valor es 1/4" Schedule 5.

Diámetro interior de la tubería:

$$\varnothing_{ext} - \text{grosor tubería} = 0,540 - 0,049 = 0,49'' = 0,012 \text{ m}$$

Área de sección:

$$\frac{0,012^2 \cdot \pi}{4} = 0,0001 \text{ m}^2$$

Cálculo de caudal:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad} &= 2,4 \text{ m/s} \\ 0,0001 \cdot 2,4 \cdot \frac{1000}{1} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right) &= 0,24 \text{ L/s} \end{aligned}$$

El caudal será 0,24 L/s. Por lo que el tiempo que tardará en vaciarse el tanque de mezcla finalmente es:

$$\frac{1500}{0,25} = 6250 \text{ s}$$

El tiempo final de vaciado del tanque sería 1 h 43 min, aun siendo 13 min más del tiempo limitante, no impide realizar dos lotes completos dentro de una jornada, con lo que se dará por válido para el proceso.

4.5 Corrientes 10 a 14

La corriente 10, 11 y 12 transporta el hidromiel desde los reactores R-1 a R-4 hasta los envejecedores. Las corrientes 13 y 14 transportan el hidromiel hasta el tanque de pre-embotellado (T-3). Todas ellas moverán el mismo volumen. Si a todas estas operaciones de transporte se les otorga el mismo tiempo, todas mueven el mismo caudal. Por lo que las características de las tuberías para estas corrientes serán las mismas. Se

⁸ Cuanto menor sea el número de días necesario menor será el número de ciclos de calentamiento a los que se debe someter la miel.

utilizarán de nuevo tuberías 1/8" Schedule 5.

Diámetro interior de la tubería:

$$\varnothing_{ext} - \text{grosor tubería} = 0,405 - 0,035 = 0,37" = 0,009m$$

Área sección:

$$\frac{0,009^2 \cdot \pi}{4} = 0,000069m^2$$

Cálculo del caudal:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad} &= 2,4 \text{ m/s} \\ 0,000069 \cdot 2,4 \cdot \frac{1000}{1} \left(m^2 \frac{m}{s} \frac{L}{m^3} \right) &= 0,16 \text{ L/s} \end{aligned}$$

Se transportan 1.500 L de mosto o hidromiel (según la corriente):

$$\frac{1500}{0,16} \cdot \frac{1}{3600} \left(\frac{L}{L/s} \frac{h}{s} \right) = 2,6 \text{ h}$$

4.6 Tratamiento final y embotellado

Una vez que el hidromiel se encuentra en el tanque T-3 se toma una muestra para realizar la cata y comprobar que los dos meses de envejecimiento han sido suficiente para el clareamiento. Si esto no ocurriera, se utilizará algún aditivo como ya se mencionó en el apartado "Diagrama de procesos". Una vez comprobado que el hidromiel está listo se puede enviar al embotellado.

Por último, se ha seleccionado una embotelladora automática pequeña como referencia para el cálculo del caudal de embotellado^[18]. Llenará 500 botellas/hora. Se utilizarán botellas de vino de 0,75 L, por lo que el volumen embotellado por hora será:

$$500 \cdot 0,75 = 375 \text{ L/h}$$

Tiempo necesario para el embotellado de un lote:

$$\frac{1500}{375} = 4 \text{ h/lote}$$

Para transportar el hidromiel hasta la embotelladora se utiliza de nuevo una tubería 1/8" Schedule 5. El caudal lo determina la embotelladora, es decir, 375 L/h.

Diámetro interior de la tubería:

$$\varnothing_{ext} - \text{grosor tubería} = 0,405 - 0,035 = 0,37" = 0,009m$$

Área sección:

$$\frac{0,009^2 \cdot \pi}{4} = 0,00069m^2$$

Combinado con el caudal:

$$375 \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{1000} \left(\frac{L \cdot h \cdot m^3}{h \cdot s \cdot L} \right) = 0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad del fluido:

$$\frac{0,0001}{0,00069} = 0,15 \text{ m/s}$$

Esta velocidad es admisible dentro del rango de velocidades estándar de un líquido en una tubería.

En este apartado queda determinado las tuberías que se utilizarán, los caudales dentro de dichas tuberías y el tiempo invertido en las distintas operaciones de transporte.

5 BALANCES DE ENERGÍA

Algunas de las operaciones para la fabricación de hidromiel deben darse dentro de un rango de temperaturas. Para garantizar que esto ocurra se hará uso de corrientes auxiliares (mostradas en el apartado “Diagrama de procesos”). En este apartado se expresan y explican los cálculos realizados para aquellas operaciones que precisan de un acondicionamiento térmico.

Las operaciones que precisan de dicho acondicionamiento son: la licuación de la miel, el proceso de mezclado de agua y miel, la fermentación y el envejecimiento. Todos los equipos donde se den procesos que precisen acondicionamiento contarán con encamisado, a través del cual ocurrirá el contacto indirecto entre lo que contenga el recipiente y las corrientes auxiliares. La licuación de la miel se dará a 45°C, para lo cual se aportará calor mediante un corriente auxiliar a 50°C. El proceso de mezclado se llevará a cabo a 35°C, la corriente auxiliar encargada de mantener esta temperatura estará a 50°C. El fermentador tendrá una temperatura máxima de 30°C, para lo cual se utilizará una corriente auxiliar a 40°C. El envejecedor deberá mantenerse en un rango de temperaturas entre 10°C y 15°C, por lo que se enfriará con una corriente de agua a 5°C.

Cada una de las operaciones a las que se apliquen estas corrientes formarán un subapartado. Los cálculos mostrados a modo de ejemplo en cada subapartado se realizarán sobre las condiciones más desfavorables. Dichas condiciones se especificarán en cada uno de los apartados. Posteriormente a los cálculos, se mostrará una tabla con los resultados obtenidos para cada mes del año.

Dado que la temperatura del ambiente determina las necesidades que deben cubrir las corrientes auxiliares es necesario elegir un criterio sobre el cual realizar los cálculos. Para ello se establece la premisa de que la planta se encontrará en Sevilla. La temperatura elegida cada mes será la temperatura media de dicho mes entre los años 2010 y 2019^[19]. Se ha estudiado también cuanto tardan las temperaturas en salir de los rangos recomendados para los casos más desfavorables. Para ellos se han elegido la temperatura máxima y mínima en los últimos diez años. Ambos ocurren en 2011, la temperatura mínima es -2°C y la máxima 45,9°C. En la tabla 5.1 se muestran las temperaturas medias de cada mes para el periodo indicado, por último, se muestra la temperatura sobre la cual se realizarán los cálculos:

De acuerdo con los datos observados en la tabla, en algunos meses del año habrá que aportar calor a los reactores para alcanzar el rango de 20 a 30°C, pero en otros meses la temperatura estará, de forma natural, en dicho rango. Lo mismo ocurre con el envejecedor, habrá momentos del año en los que la temperatura esté en el rango deseado (10-15°C), mientras que en ocasiones será necesario enfriar el contenido de estos tanques.

Salvo en el tanque de mezcla, los equipos que participan en las operaciones recogidas en este apartado estarán calorifugados. Para elegir el material con el que se realiza se han comparado materiales típicos para el aislamiento industrial, tales como lana de roca, lana de vidrio o materiales cerámicos basados en sílice^{[20][21]}. Se ha elegido la lana de vidrio frente a la lana de roca, por ser la primera más barata teniendo ambas una conductividad térmica similar^[22].

Establecidas las condiciones deseadas se expresará, en diferentes apartados, los cálculos para cada una de las operaciones que precisan acondicionamiento térmico.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	May.	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
2010	11,0	12,5	14,3	18,6	20,7	23,9	29,3	29,6	25,1	18,6	13,2	12,2
2011	11,0	11,5	14,1	19,0	22,3	26,1	27,1	27,6	25,0	21,7	14,3	10,5
2012	9,7	9,0	14,9	19,0	23,2	26,1	27,1	27,6	25,0	21,7	14,3	10,5
2013	10,7	10,5	13,5	17,0	19,4	24,5	27,6	28,3	24,8	20,7	13,3	11,0
2014	11,9	12,0	14,4	18,6	22,2	24,1	25,4	26,8	23,3	21,1	15,6	10,2
2015	9,5	10,9	14,7	17,9	23,3	25,7	29,3	27,2	22,7	19,6	15,0	13,0
2016	12,5	12,5	12,9	16,4	19,4	25,4	28,7	28,7	25,2	20,7	14,1	12,3
2017	9,2	13,0	14,8	18,7	21,5	27,3	27,4	28,4	24,8	22,8	15,0	11,6
2018	11,4	10,5	13,4	15,9	18,9	23,1	25,0	28,9	26,2	19,7	14,5	12,2
2019	10,2	12,9	16,1	16,7	23,9	24,8	26,6	27,7	25,1	20,4	14,8	13,8
MEDIA	10,7	11,5	14,3	17,8	21,5	25,1	27,4	28,1	24,7	20,7	14,4	11,7

Tabla 5.1 Temperatura media de cada mes en Sevilla entre los años 2010 y 2019

5.1 Licuación de la miel

El objetivo de este apartado es determinar el tiempo y energía necesarios para licuar la miel.

Los sistemas de almacenamiento de miel serán de 1.500 L, por lo que los cálculos para la licuación de miel se realizarán sobre este volumen.

La licuación de la miel se realizará una vez al mes. Una vez que la miel esté licuada se prepararán los cuatro lotes mensuales. De esta forma se evitan ciclos de calentamiento/enfriamiento de la miel. El tiempo aproximado para la fabricación de un lote es de 4 horas, en una jornada estándar se pueden realizar dos lotes. Producir los cuatro lotes mensuales de mosto conllevaría dos jornadas por lo que los cálculos se realizan para mantener la miel licuada durante 48 horas. En este periodo de tiempo se busca que la temperatura mínima de la miel sea 35°C. De modo que los cálculos que se muestran a continuación tienen como objetivo llevar 1.500 L de miel a 45°C, y a partir de ese punto que se enfríe hasta 35°C en un tiempo mínimo de 48 horas mediante la selección del grosor de material aislante.

Los cálculos para esta operación se realizarán sobre las condiciones más desfavorables, es decir, la temperatura ambiente más lejana a 45°C. De acuerdo con la tabla 5.1 esto ocurre en el mes de enero, donde la temperatura media en el tiempo observado fue 10,7°C.

Para calcular la energía necesaria que se debe aportar a la miel se consideran los siguientes datos:

- Volumen de miel: 1.500 L

- $C_{p_{miel}}: 2.380 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}^{[23]}$
- $\rho_{miel}: 1,4 \text{ kg/L}^{[24]}$

Partiendo de:

$$Energía \ a \ aportar = C_p \cdot M \cdot \Delta T \quad (Ec \ 5.1)$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 5.1 (Donde la masa es Volumen por Densidad):

$$2380 \cdot 1500 \cdot 1,4 \cdot (45 - 10,7) = 171431400 \text{ J} = 171431,4 \text{ kJ}$$

Para aportar esa energía se utilizará agua a 50°C. La superficie de intercambio vendría dada por la camisa que rodee el tanque donde se almacena la miel. En este caso, para el tanque utilizado como referencia la camisa tendría una superficie de intercambio de 1,7 m² (tanque de 1.500 L)^[25]. El agua utilizada se transportaría por una tubería de 1/8" Schedule 5 a 2,5 m/s, por lo que el caudal transportado correspondería a 0,17 L/s (la justificación de este cálculo se puede ver en repetidas ocasiones en el apartado de "Balance de materia").

Dadas las condiciones determinadas en el párrafo anterior se ha calculado el tiempo que será preciso para aportar la energía a la miel. Para ello se calcula el límite de potencia transferida por la camisa y el límite de potencia del agua a 50°C, y con el resultado más restrictivo se calcula el tiempo necesario para la operación.

Para calcular la potencia máxima que puede ceder el agua se determina la temperatura media del interior del tanque a lo largo del proceso:

$$\frac{45 + 10,7}{2} = 27,85^{\circ}\text{C}$$

Utilizando la ecuación 5.1 aplicada al agua y aplicando caudal donde antes aparecía volumen, se obtiene la potencia media que puede ceder el agua:

- Caudal de agua: 0,17 L/s
- $C_{p_{agua}}: 4.186 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}^{[26]}$

$$Potencia \ cedida \ por \ el \ agua = 4,19 \cdot 0,17 \cdot (50 - 27,85) = 15,78 \text{ kW}$$

La potencia máxima que puede intercambiarse en la camisa del tanque sería:

- Superficie intercambio: 1,7 m².
- Coeficiente de película para líquido estático: $h_{int}=500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Coeficiente de película para líquido en movimiento: $h_{ext}=5.000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

La resistencia térmica de la separación física entre la miel y el agua de la corriente auxiliar se considera despreciable. De esta forma, la resistencia térmica será:

$$\sum R = \frac{1}{Sup_{int} \cdot h_{int}} + \frac{1}{Sup_{ext} \cdot h_{ext}} \quad (Ec \ 5.2)$$

En este caso, la superficie interior y la superficie exterior se corresponden con la superficie de intercambio, es decir, 1,7 m².

Sustituyendo los datos se obtiene el valor de la resistencia total:

$$\sum R = \frac{1}{1,7 \cdot 500} + \frac{1}{1,7 \cdot 5000} = 0,001294 \text{ K/W}$$

La potencia transferida se calcula con la ecuación 5.3. expresada a continuación:

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R} \quad (\text{Ec } 5.3)$$

Sustituyendo en la ecuación 5.3:

$$q = \frac{50 - 27,85}{0,001294} = 17117W = 17,12kW$$

El factor limitante es la potencia cedida por el agua (15,78 kW), por lo que el tiempo necesario para la energía calculada al principio de este apartado será:

$$\frac{171431,4 \text{ kJ}}{15,78 \text{ kW}} = 10863s = 3,02 \text{ h} \quad (\text{Ec. } 5.4)$$

El tiempo necesario para calentar la miel en las condiciones más adversas con un caudal de 0,17 L/s de agua a 50°C será 3h.

Con el objetivo de no someter a la miel a ciclos de calentamiento y enfriamiento, se busca calentar la miel una sola vez y realizar entonces todos los lotes mensuales. Para realizar cada lote se requieren 4 horas. En una jornada de 8 horas se producirían dos lotes. A lo largo de dos días (48 horas) se podrían hacer los cuatro lotes. Por esta razón se busca un aislamiento del tanque que consiga mantener la miel por encima de 35°C al menos 48 horas. Para calcular la energía máxima que puede perderse se considera el volumen medio a lo largo del proceso:

$$\frac{1500L}{2} = 750 L$$

La energía máxima que se puede ceder será (utilizando la ecuación 5.1):

$$2380 \cdot 750 \cdot 1,4 \cdot (45 - 35) = 24990000 J = 24990 \text{ kJ}$$

El tiempo en el que debe perderse dicha energía serán 48 h, es decir, 172.800 s. Por lo que la potencia que puede transferirse será:

$$q = \frac{24990 \text{ kJ}}{172800 \text{ s}} = 0,14 \text{ kW} = 140 \text{ W} \quad (\text{Ec. } 5.5)$$

Considerando la temperatura media a lo largo del proceso la resistencia de la transferencia térmica deberá ser (sustituyendo en la ecuación 5.3):

$$\sum R = \frac{40 - 10,7}{140} = 0,21 \text{ K/W}$$

Conocida la resistencia se puede imponer el grosor de la capa de aislante en este equipo, mediante la ecuación X (modificación de la ecuación 5.2):

$$\sum R = \frac{1}{2\pi \cdot r_{int} \cdot altura \cdot h_{int}} + \frac{\ln(r_{ext}/r_{int})}{2\pi \cdot altura \cdot k} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{ext} \cdot altura \cdot h_{ext}}$$

Donde r_{int} y r_{ext} son el radio interior y exterior del equipo respectivamente, “altura” es la altura del equipo en la que hay intercambio de calor, h_{int} y h_{ext} son los coeficientes de película térmica interior y exterior respectivamente; y k es el coeficiente de transferencia térmica del aislante. De nuevo, la resistencia térmica de la pared metálica del equipo se considera despreciable. Los valores que deben considerarse son:

- $r_{ext}=0,57 \text{ m}$
- Conductividad térmica aislante: $k=0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- $h_{int}=500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- $h_{ext}=5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

- $k=0,034$

Sustituyendo los valores conocidos se obtiene el valor (se usan el radio y la altura del equipo utilizado como referencia^[22]) del r_{ext} :

$$0,21 = \frac{1}{2\pi \cdot 0,57 \cdot 1,5 \cdot 500} + \frac{\ln(r_{ext}/0,57)}{2\pi \cdot 1,5 \cdot 0,034} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{ext} \cdot 1,5 \cdot 5}$$

Resolviendo la ecuación, el resultado de r_{ext} que se obtiene es 0,60 m. El grosor de la capa de lana de vidrio será:

$$\text{Grosor de la capa de aislante: } 0,60 - 0,57 = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

Una vez calculado como debe ser el aislamiento y las transmisiones de calor se puede establecer el comportamiento térmico para todos los meses del año, el resultado obtenido se muestra en la tabla 5.2:

Mes	Energía requerida (kJ)	Tiempo para alcanzar 45°C(h:min)	Potencia cedida al ambiente (kW)	Tiempo hasta bajar a 35°C(h:min)
Enero	171431,4	3:01	0,14	49:45
Febrero	167433,0	3:00	0,14	51:08
Marzo	153438,6	2:56	0,12	56:43
Abril	135945,6	2:51	0,11	65:39
Mayo	117453,0	2:44	0,09	78:47
Junio	99460,2	2:35	0,07	97:50
Julio	87964,8	2:29	0,06	115:41
Agosto	84466,2	2:26	0,06	122:30
Septiembre	101459,4	2:36	0,07	95:16
Octubre	121451,4	2:45	0,09	75:31
Noviembre	152938,8	2:56	0,12	56:56
Diciembre	166433,4	2:59	0,13	51:30

Tabla 5.2 Tabla resumen de la operación de licuación de la miel

De acuerdo con los resultados recogidos en la tabla el tiempo máximo para realizar la licuación de la miel con los parámetros elegidos será 3 horas. Considerando el tiempo que tarde la miel en enfriarse con el aislamiento establecido, se podría reducir la potencia aplicada y aumentar el tiempo para llevar la miel hasta 45°C, de este modo se podría reducir el caudal o la temperatura del agua.

Si la miel estuviera almacenada en un tanque IBC y hubiera que usar una resistencia eléctrica también se puede aumentar el tiempo necesario a cambio de una potencia menor.

5.2 Balance de energía en el mezclador

Este apartado contiene los cálculos referentes al balance de energía en todo el proceso de mezcla de la miel y el agua para formar el mosto. Esta operación se lleva a cabo a 35°C. Comienza con la mezcla de agua y miel. El agua estará a temperatura ambiente. La miel estará en el rango de 45°C a 35°C. Se realiza la mezcla mientras se aporta calor hasta alcanzar los 35°C. Finalmente se añade agua a temperatura ambiente.

Para realizar los cálculos se han considerado las condiciones más desfavorables, que para esta operación será la de menor temperatura ambiente, es decir, 10,7 °C en enero y una temperatura de la miel de 35°C.

En primer lugar, se determina a qué temperatura quedará el conjunto de agua y miel en primer lugar, para lo cual se considera que la energía que tomará el agua para aumentar su temperatura procederá de la miel. La temperatura que se alcanza se determina con la ecuación 5.6:

$$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_f - T_1) = m_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_2 - T_f) \quad (Ec. 5.6)$$

Donde m_1 y m_2 hacen referencia a las masas de los fluidos en contacto, C_{p1} y C_{p2} son los calores específicos de los fluidos 1 y 2, en este caso agua y miel, T_f es la temperatura final de los fluidos, T_1 es la temperatura inicial del fluido 1 y T_2 la temperatura inicial del fluido 2. Todos los valores, salvo T_f son conocidos:

- $m_{\text{agua}}=562,5 \text{ kg}$
- $m_{\text{miel}}=375 \text{ L} \cdot 1,4 \text{ kg/L}=525 \text{ kg}$
- $C_{p\text{agua}}: 4.186 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- $C_{p\text{miel}}: 2.380 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- $T_{\text{agua}}=10,7 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_{\text{miel}}=35 \text{ }^\circ\text{C}$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5.6, se determina T_f :

$$562,5 \cdot 4186 \cdot (T_f - 10,7) = 525 \cdot 2380 \cdot (35 - T_f)$$

$$T_f = 18,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

El siguiente paso es calcular la energía necesaria para llevar la mezcla desde 18,68 °C hasta 35°C. Para lo cual se consideran el agua y la miel líquidos separados. Haciendo uso de la ecuación 5.7 se determina la energía necesaria:

$$\frac{(562,5 \cdot 4186 + 525 \cdot 2380) \cdot (35 - 18,68)}{1000} = 51900 \text{ kJ} \quad (Ec. 5.7)$$

Para aportar dicha energía se utilizará agua a 50°C. Como ya se calculó en el subapartado anterior, el factor limitante es la potencia que puede ceder el agua. Para calcular este valor es preciso conocer la temperatura media del proceso:

$$\frac{35 + 18,68}{2} = 26,84 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para el cálculo de la potencia cedida por el agua se aplica la ecuación 5.1 (el caudal de la corriente auxiliar es el mismo que el del subapartado anterior):

$$4,19 \cdot 0,17 \cdot (50 - 26,84) = 16,50 \text{ kW}$$

El tiempo necesario para alcanzar los 35°C será:

$$\frac{51900 \text{ kJ}}{16,50 \text{ kW}} = 3145 \text{ s} = 52 \text{ min}$$

En las condiciones más desfavorables el tiempo necesario para calentar la mezcla completamente es 52 min. Por último, se añade el agua restante a temperatura ambiente. La temperatura final para el mes de enero se calcula utilizando la ecuación 5.6. Los valores para sustituir en esta ecuación son:

- $m_{\text{agua}}=562,5 \text{ kg}$
- $T_{\text{agua}}=10,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{mezcla}}=35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$562,5 \cdot 4186 \cdot (T_f - 10,7) = (562,5 \cdot 4186 + 525 \cdot 2380) \cdot (35 - T_f)$$

$$T_f = 25,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

La temperatura final del proceso de mezcla en las condiciones expresadas es 25,4 °C. A esta temperatura se puede añadir la levadura.

En la tabla 5.3 se muestran los resultados de los cálculos realizados en este apartado para todos los meses del año.

Mes	Temperatura inicial (°C)	Energía requerida (kJ)	Potencia cedida por el agua (kW)	Tiempo hasta alcanzar 35°C (min)	Temperatura final (°C)
Enero	19	57217,39	16,33	58	25
Febrero	20	55333,69	16,15	57	26
Marzo	21	48740,74	15,50	52	27
Abril	23	40499,55	14,68	46	28
Mayo	26	31787,44	13,82	38	30
Junio	29	23310,79	12,98	30	31
Julio	30	17895,15	12,45	24	32
Agosto	30	16246,91	12,28	22	32
Septiembre	28	24252,64	13,08	31	31
Octubre	26	33671,14	14,01	40	29
Noviembre	22	48505,28	15,47	52	27
Diciembre	20	54862,76	16,10	57	26

Tabla 5.3 Resultados balance de energía en el mezclador según los meses.

En el caso más desfavorable el tiempo necesario para calentar la mezcla es 1 h. Cuando esto ocurre, la temperatura final una vez añadida el agua será 25 °C, lo que permite añadir la levadura inmediatamente después de llevar el mosto hasta el reactor. En los meses donde la temperatura es mayor será necesario que la mezcla baje al menos 2 grados antes de añadir la levadura.

5.3 Balance de energía en el fermentador primario

El objetivo en el reactor primario es mantener la temperatura entre 30°C y 20°C. Se realiza de esta forma para evitar calentar todos los reactores de forma continua, de modo que se puede reducir el tamaño del equipo encargado de calentar el agua y el diámetro de las tuberías que alimentará a varias corrientes. Se utilizará agua a 40°C para llevar a cabo esta operación. De acuerdo con los resultados de la tabla 5.3 el mosto llegará al fermentador por encima de 20°C. Por lo que en primer lugar siempre se puede dejar que el mosto baje hasta el límite inferior marcado antes de tener que aportar energía. Y la energía que se debe aportar siempre será para superar el salto térmico especificado. Las condiciones externas determinarán el tiempo que tarda el contenido del fermentador hasta 20°C.

Atendiendo a los resultados de la temperatura media en la tabla 5.1, entre los meses de mayo y octubre incluidos no sería preciso aportar calor al mosto, ya que la temperatura se mantendría por sí misma por encima de 20°C. Por esta razón, en la tabla de resultados de este apartado no se recoge dicho periodo de tiempo.

La situación más desfavorable coincide con los subapartados anteriores, dándose en el mes de enero, donde la temperatura media es la más baja. Por esta razón los cálculos de ejemplo de este apartado se realizarán considerando la temperatura del mes de enero. Una vez hayan concluido los cálculos se mostrará una tabla con los resultados obtenidos para el resto de los meses que requieran acondicionamiento.

En primer lugar, se calcula, el calor específico del mosto mediante media ponderada. Los datos de partida son:

- Masa agua: 1.125 kg
- Masa miel: 525 kg
- $C_{p\text{agua}}$: 4.186 J/kg·°C
- $C_{p\text{miel}}$: 2.380 J/kg·°C

La masa total será:

$$\begin{aligned} \text{Masa total} &= \text{masa agua} + \text{masa miel} \\ 1125 + 525 &= 1650 \text{ kg} \end{aligned}$$

El calor específico de la mezcla se calcula mediante la ecuación 5.9:

$$\frac{1125}{1650} \cdot 4186 + \frac{525}{1650} \cdot 2380 = 3611,36 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \quad (\text{Ec 5.8})$$

Con el C_p calculado y conocido el salto de temperatura, la energía que se debe aplicar al mosto será:

$$1650 \cdot 3611,36 \cdot (30 - 20) = 59587500 \text{ J} = 59587,5 \text{ kJ}$$

A continuación, se calcula la potencia que puede ceder el agua a 40°C. Se utilizan los mismos parámetros de tubería y velocidad del líquido que en los apartados anteriores. Para calcular la potencia que puede transferir el agua se considera que la temperatura media del proceso será 25°C (rango de 30 a 20°C):

$$4,18 \cdot 0,17 \cdot (40 - 25) = 10,66 \text{ kW}$$

El tiempo necesario para llevar el mosto hasta 30°C será:

$$\frac{59587,5}{10,66} = 5589,82 \text{ s} = 1 \text{ h } 33 \text{ min}$$

A lo largo de 6 horas se pueden calentar los cuatro reactores en los que ocurren la fermentación.

Para reducir la periodicidad de esta operación (con el fin de reducir el gasto energético) se aplica un aislamiento a los fermentadores. El aislamiento se calculará para que sea necesario calentar el mosto una vez a la semana.

La energía que pierde la mezcla a lo largo de dicho periodo de tiempo es la calculada anteriormente: 59587,5 kJ.

El tiempo a lo largo del cual se enfría el mosto es:

$$8 \cdot 24 \cdot 3600 = 691200 \text{ s}$$

La potencia que se puede perder a través de la superficie del reactor será:

$$\frac{59587,5}{691200} = 0,09 \text{ kW} = 90 \text{ W}$$

Conocido el calor que puede transferirse y el salto de temperatura entre el interior del tanque de fermentación y el exterior (teniendo en cuenta la temperatura media del proceso):

$$\sum R = \frac{25 - 10,7}{90} = 0,16 \text{ K/W}$$

Utilizando el mismo aislante que en el caso del tanque de miel y un tanque de una capacidad de 1500 L. Los parámetros para calcular el grosor de aislante son (ecuación 5.2):

- Resistencia térmica: $\sum R = 0,16 \text{ K/W}$
- $r_{\text{int}}=0,565 \text{ m}$
- Altura: 1,5 m
- $h_{\text{int}}=500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- $k=0,034$
- $h_{\text{ext}}=5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$$0,16 = \frac{1}{2\pi \cdot 0,57 \cdot 1,5 \cdot 500} + \frac{\ln(r_{\text{ext}}/0,57)}{2\pi \cdot 1,5 \cdot 0,034} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{\text{ext}} \cdot 1,5 \cdot 5}$$

$$r_{\text{ext}} = 0,59 \text{ m}$$

Utilizando una capa aislante de 2 cm se consigue que el mosto tarde 1 semana en bajar desde los 30°C hasta 20°C.

Con el rango de temperaturas fijado y el grosor de la capa aislante conocida se calcula el tiempo que tardará el mosto en volver a la temperatura de 20°C, el tiempo obtenido es el que marca con qué frecuencia se debe realizar la operación. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.4:

Mes	Potencia cedida al ambiente (kW)	Tiempo en enfriarse hasta 20°C (días)
Enero	0,09	7,71
Febrero	0,08	8,17
Marzo	0,07	10,31
Abril	0,05	15,32
Noviembre	0,07	10,41
Diciembre	0,08	8,30

Tabla 5.4 Tiempo que tarda el mosto en volver a 20°C.

Con el grosor de aislamiento propuesto se realizará la operación solo una vez a la semana en los casos más desfavorables, obviando los meses donde no se precisa, en la situación más favorable se lleva a cabo la operación cada dos semanas.

5.4 Balance de energía en el envejecedor

El último elemento que requiere acondicionamiento es el envejecedor. El proceso se dará en un rango de temperaturas entre 10 y 15°C. En los meses más calurosos del año será necesario enfriar el contenido del equipo para mantener el hidromiel dentro del rango de temperaturas establecido.

Para llevar a cabo el acondicionamiento se reducirá la temperatura del hidromiel hasta 10°C. Cuando la temperatura del entorno provoque que el contenido del tanque llegue a 15°C se volverá a refrigerar para llegar hasta 10°C. Siendo la temperatura media en el equipo 12,5°C durante la operación de refrigeración. Dado que son 8 los tanques a refrigerar, se busca que cada proceso tenga una duración de 1 h. De esta forma se puede realizar toda la operación en una jornada sin necesidad de dimensionar las tuberías para realizar varias refrigeraciones simultáneas.

Como se ha hecho con el proceso anterior, el objetivo es refrigerar cada tanque una vez a la semana. Para ello es preciso aislar el tanque térmicamente. Considerando que debe evitarse la entrada de calor y teniendo en cuenta los precios y las conductividades, el material aislante elegido es el poliuretano^{[21][22]}, cuyo coeficiente de conductividad térmico es 0,028 W/m²·K.

Los cálculos se realizarán una vez más sobre las condiciones de temperatura ambiental más desfavorable, que en este caso es el mes de agosto, ya que es el momento del año en el que la temperatura media es más alta.

En primer lugar, se realiza el cálculo de la energía que debe retirarse del hidromiel para bajar su temperatura de 15°C a 10°C, partiendo de los siguientes datos:

- Masa total dentro del tanque: 1650 kg
- $C_{p_{mezcla}}$: 3,61 kJ/kg·°C

Especificado lo anterior, la energía que debe retirarse es:

$$3,61 \cdot 1650 \cdot (15 - 10) = 29782,5 \text{ kJ}$$

Conocida la energía que se debe extraer e imponiendo el tiempo que dura la operación se calcula la potencia extraída:

$$\frac{29782,5}{3600} = 8,27 \text{ kW}$$

El agua de refrigeración llegará hasta estos tanques por una tubería 1/8" Schedule 5 a una velocidad de 2,5 m/s, el cálculo de caudal para estas condiciones ya se ha realizado en repetidas ocasiones, el caudal obtenido es 0,17 L/s. Conocida la potencia a extraer y el caudal se determina la temperatura del agua de refrigeración:

- $C_{p\text{agua}}: 4,18 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$
- Caudal de agua: 0,17 L/s (0,17 kg/s)

Potencia tomada por el agua de refrigeración:

$$4,18 \cdot 0,17 \cdot (12,5 - T_{\text{agua refrigeración}}) = 8,27 \text{ kW}$$

$$T_{\text{agua refrigeración}} = 0,9^\circ\text{C}$$

Una vez que la temperatura llega a los 10°C, el objetivo es que tarde al menos 1 semana en alcanzar 15°C de nuevo. Para ello se establece la potencia que debe cederse al ambiente a lo largo del tiempo. Y una vez conocida la potencia se impone la resistencia térmica. Los parámetros para el cálculo son los siguientes:

- Energía que puede ceder: 29.782,5 kJ
- Tiempo impuesto: $8 \cdot 24 \cdot 3.600 = 691.200 \text{ s}$
- Temperatura en el tanque: 12,5 °C
- Temperatura en el ambiente: 28,1 °C

Mediante la ecuación 5.5:

$$q = \frac{29782,5}{691200} = 0,04 \text{ kW} = 40 \text{ W}$$

$$\sum R = \frac{28,1 - 12,5}{40} = 0,39 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

A continuación, se puede calcular el grosor de la capa de material aislante. Siendo el tanque de 1500 L y el poliuretano el material utilizado, los parámetros para el cálculo del grosor serán:

- $\sum R = 0,39 \text{ K/W}$
- $r_{\text{int}} = 0,57$
- Altura: 1,5 m
- $h_{\text{int}} = 500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- $h_{\text{ext}} = 5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- $k = 0,028$

$$0,39 = \frac{1}{2\pi \cdot 0,57 \cdot 1,5 \cdot 500} + \frac{\ln(r_{\text{ext}}/0,57)}{2\pi \cdot 1,5 \cdot 0,028} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{\text{ext}} \cdot 1,5 \cdot 5}$$

$$r_{\text{ext}} = 0,62$$

El resultado determina que el grosor de la capa de material aislante debe ser 5 cm. Fijado este valor, se puede determinar cada cuanto tiempo se debe repetir el proceso de refrigeración. Esto se llevará a cabo en los meses en los que la temperatura media del ambiente supere los 15°C. De acuerdo con la tabla 5.1 esto ocurre en los meses de abril a octubre incluidos. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.5:

Mes	Potencia tomada del ambiente (kW)	Tiempo hasta alcanzar 15°C (días)
Abril	0,014	25
Mayo	0,023	15
Junio	0,032	11
Julio	0,038	9
Agosto	0,039	8
Septiembre	0,031	11
Octubre	0,021	16

Tabla 5.5 Tiempo en los que se alcanzan los 15°C.

Haciendo las cosas de este modo aquellas corrientes que a su vez conducen el agua a otras corrientes no deben estar sobredimensionadas, ya que todos los sistemas de acondicionamiento están pensados para funcionar uno a uno. De esta forma, el tamaño de los equipos y las tuberías que contienen las corrientes auxiliares pueden ser menores y, por tanto, de un precio más pequeño.

5.5 Caso más desfavorable por baja temperatura

El caso más desfavorable para baja temperatura se dará en los reactores primarios, como se ha mencionado al comienzo del apartado, la referencia se tomará en la temperatura más baja registrada en los últimos 10 años, -2°C. Pese a que el rango elegido para la operación normal es entre 20°C y 30°C, el fabricante recomienda mantenerse por encima de 15°C. En este apartado se calculará el tiempo que tarda en el contenido de los reactores desde 20°C hasta 15°C con una temperatura ambiente de -2°C. El grosor del aislamiento se ha calculado en el apartado 5.2.

Mediante la ecuación 5.1 se calcula la energía que debe perder el mosto del reactor para bajar de 20°C hasta 15°C. Tomando los resultados de calor específico y masa calculados en el apartado 5.3. Sustituyendo los datos en la ecuación mencionada:

$$3611,36 \cdot 1650 \cdot (20 - 15) = 29.793,72 \text{ kJ}$$

La resistencia térmica es la calculada en el apartado 5.3, ya que determina la superficie del reactor y el grosor del aislante. Conocida la resistencia y el salto de temperatura se determina la potencia cedida al ambiente (ecuación 5.3):

$$\frac{20 - (-2)}{0,16} = 137,5 \text{ W} = 0,14 \text{ kW}$$

La energía que debería perder y la potencia perdida determina el tiempo que llevaría el enfriamiento desde 20°C hasta 15°C:

$$\frac{29793,72}{137,5} = 212807 \text{ s} = 59 \text{ h}$$

El tiempo que requeriría el enfriamiento en las condiciones más desfavorables permiten actuar poniendo en marcha los sistemas para calentar el contenido de los reactores.

5.6 Caso más desfavorable por alta temperatura

El caso opuesto al anterior se trata del calentamiento natural para los envejecedores. La temperatura más desfavorable registrada es 45,9°C. Del mismo que en el caso anterior se va a estudiar el tiempo precisado para llegar de 15°C hasta 20°C. El grosor de aislamiento se calcula en el apartado 5.4.

Mediante la ecuación 5.1 se determina que la energía necesaria para subir de 15 a 20°C es:

$$3,61 \cdot 1650 \cdot (20 - 15) = 29782,5 \text{ kJ}$$

La resistencia térmica, calculada en el apartado 5.4, es decir, 0,39 K/W. Conocida la resistencia térmica y la diferencia de temperatura, entre 45,9 y 15°C, se puede determinar la potencia absorbida por el contenido del envejecedor:

$$\frac{45,9 - 15}{0,39} = 79,23 \text{ W} = 0,079 \text{ kW}$$

Ahora es posible calcular el tiempo necesario para alcanzar 20°C:

$$\frac{29782,5}{0,079} = 376987,34 \text{ s} = 104 \text{ h}$$

Igual que ocurre con el caso anterior, el tiempo que llevaría este calentamiento natural permite operar los sistemas necesarios para devolver la temperatura al rango deseado.

6 BALANCE DE PRESIONES

El objetivo en este apartado es determinar las propiedades de las bombas que deben usarse en distintos puntos del proceso. Para realizar los cálculos de la altura que debe desarrollar la bomba y las pérdidas de carga se supondrá una implantación con mayor detalle que el diagrama de procesos expuesto en el apartado 3. Se dividirá el proceso en partes que van de bomba hasta el último equipo antes de la siguiente bomba presente. En los casos en los que los equipos están más cerca unos de otro se ha elegido una distancia de 75 cm. de forma que se pueda mover una persona entre los distintos equipos. Antes del cálculo de cada tramo se mostrará el diagrama correspondiente a dicho tramo.

6.1 Tramo 1

El tramo 1 es el correspondiente a impulsar el agua que llega de la red hasta el tanque de agua. La bomba necesitará vencer la pérdida de carga que supone el filtro de carbón activo y vencer dos veces la altura de estos equipos. Ambos de 1,5 m de altura. Además de la pérdida de carga asociada al recorrido.

El caudal será el elegido en el apartado 4.1, es decir, 0,4 m³/h. La tubería utilizada será 1" Schedule 5. Como ya se calculó en el apartado mencionado, el diámetro interior será 0,03 m. Y el área de la sección 0,0007 m².

Para conocer la pérdida de carga se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_{AB} = 4f \cdot \frac{(L + \sum L_{eq}) \cdot u^2}{d} \cdot \frac{1}{2} \quad (Ec. 6.1)$$

Donde h representa la pérdida de carga en m²/s², $4f$ es el factor de Fanning obtenido directamente del ábaco de Moody, L es la longitud que recorrerá el fluido, L_{eq} es la longitud equivalente de los distintos elementos a lo largo de la línea calculada, d es el diámetro interior de la tubería y u es la velocidad media en la sección de tubería.

Para calcular el factor de Fanning mediante el ábaco de Moody se determina el factor ϵ/D y el número de Reynolds. El factor ϵ/D lo determina el diámetro interior y el material de la tubería (acero comercial). Paralelamente, conocidos los datos de diámetro (ϕ_{int}), velocidad del fluido (u), viscosidad (μ) y la densidad (ρ), se calcula el número adimensional de Reynolds.

Determinación factor ϵ/D :

- $\phi_{int}=0,024$ m
- *Acero comercial*

Resultado ϵ/D : 0,0019

Cálculo del número adimensional de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot \phi_{int}}{\mu} \quad (Ec 6.2)$$

En este caso particular:

$$Re = \frac{997 \cdot 0,15 \cdot 0,03}{10^{-3}} = 3,59 \cdot 10^3$$

Conocido el factor ϵ/D y el número Re se puede conocer el factor de Fanning mediante el ábaco de Moody.

- $\epsilon/D=0,0018$
- $Re=3,59 \cdot 10^3$

Factor de Fanning: 0,044

Se calcula la longitud equivalente de los elementos mediante tablas. En este tramo hay presente 2 salidas bruscas, 1 cierre brusco y 7 codos de 90°. La longitud estimada será 2 m y la longitud equivalente con los elementos presentes será 9,5m. La longitud se calcula en base a una implantación supuesta expresada en el ANEXO 1. El diámetro y la velocidad del fluido son los usados para el cálculo del número de Reynolds. Con los datos conocidos se puede calcular la pérdida de carga:

$$h_{AB} = 0,044 \cdot \frac{(2 + 9,5)}{0,03} \cdot \frac{0,15^2}{2} = 0,24 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Conocida la pérdida de carga y las condiciones en los dos extremos del tramo seleccionado se puede determinar la altura que debe desarrollar la bomba mediante la ecuación de Bernoulli, expresada a continuación:

$$\frac{P_A}{\rho} + gz_A + \frac{\alpha_A u_A^2}{2} + \Delta H = \frac{P_B}{\rho} + gz_B + \frac{\alpha_B u_B^2}{2} + h_{AB} \quad (\text{Ec } 6.3)$$

Considerando A y B los puntos extremos del sistema P_A y P_B son las presiones en los extremos del sistema, ρ es la densidad del fluido, g es la aceleración de la gravedad, z_A y z_B son las cotas de altura en los extremos del sistema α es un factor de corrección para régimen laminar o turbulento, u_A y u_B representan la velocidad media del fluido en la sección evaluada, α es un factor de corrección que vale 1 o 1/2 en función de si el flujo es laminar o turbulento, ΔH es la altura que tiene que desarrollar la bomba y h es la pérdida de carga a lo largo de la línea.

Las ecuaciones 6.1 y 6.2 serán la utilizadas igualmente para los tramos restantes.

Se considerará que el filtro de carbón activo conlleva una pérdida de carga de 250 Pa^[15].

Se impone que en el extremo final el agua deberá tener una presión de 101.325 Pa. Considerando la misma velocidad en los puntos A y B, una diferencia de cota de 1,5 m. y la pérdida de carga desde la salida del filtro de carbón activo hasta la entrada al tanque, la presión en la salida del filtro de carbón será:

$$P_A = \left(\frac{101325}{997} + g \cdot 1,5 + h_{AB} \right) \cdot 997 = 116.220 \text{ Pa}$$

La presión P_A calculada en este caso es la que debe existir a la salida del filtro para que el agua llegue al tanque a presión atmosférica, por lo que la presión a la entrada del filtro debe ser 250 Pa mayor, por el dato mencionado anteriormente de pérdida de carga en el filtro, es decir, 116.470 Pa. Para que esa sea la presión a la entrada del filtro de carbón activo, considerando diferencia de cota de 1,5 m., la pérdida de carga y la misma velocidad en los dos puntos la altura que debe desarrollar la bomba (utilizando la ecuación 6.2) será:

$$\Delta H = \frac{116470}{997} + g \cdot 1,5 + 0,24 - \frac{101325}{997} = 30,09 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta H = 3,07 \text{ m}$$

Para este tramo no se calcula el NPSH_D ya que se asume que será suficientemente alto, considerando que el agua que entra a la bomba viene de la red.

6.2 Tramo 2

Tramo que lleva agua desde el tanque del agua (T-1) hasta el tanque de mezcla (M-1).

Este tramo de tubería será de 1/8" Schedule 5, diámetro interno 0,0094 m, área de sección $6,94 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$, velocidad del fluido 2,4 m/s.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el "Tramo 1":

Determinación factor ϵ/D :

- $\phi_{int}=0,0094$ m
- *Acero comercial*

Resultado ϵ/D : 0,002

Cálculo del número adimensional de Reynolds:

$$Re = \frac{997 \cdot 2,4 \cdot 0,0094}{10^{-3}} = 2,34 \cdot 10^4$$

Conocido el factor ϵ/D y el número Re se puede conocer el factor de Fanning mediante el ábaco de Moody.

- $\epsilon/D=0,002$
- $Re=2,34 \cdot 10^4$

Factor de Fanning: 0,027

Los elementos que aparecen en esta línea son 3 codos, 1 ensachamiento brusco. La longitud de tubería estimada para este tramo será 8,52 m. Y la longitud equivalente, si se tienen en cuenta todos los elementos y el diámetro, será 2,5 m. La pérdida de carga será:

$$h_{AB} = 0,027 \cdot \frac{(8,52 + 2,4)}{0,0094} \cdot \frac{2,5^2}{2} = 98,91 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Considerando que la presión en los extremos de la línea será igual, la velocidad también será igual, la diferencia de cota de 2 m, y la pérdida de carga calculada; la altura que debe desarrollar la bomba será:

$$\Delta H = g \cdot 2 + 98,91 = 118,51 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta H = 118,51 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 12,09 \text{ m}$$

Para el $NPSH)_D$ se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$NPSH)_D = \frac{P_2}{\rho} - g z_2 - h_{2'2} - \frac{P_0}{\rho} \quad (Ec 6.4)$$

La P_2 es la presión al principio del circuito, ρ es la densidad del fluido, z_2 es la cota donde la bomba aspira, $h_{2'2}$ es la pérdida de carga desde el comienzo del circuito hasta el punto de aspiración. La pérdida de carga en la línea se calcula con la ec. 6.1.

En el caso del tramo 2, la presión al principio del circuito es 1 atm (101325 Pa), la densidad del agua a 25°C es 997 kg/m³, la cota (en el caso más desfavorable) es muy cercana a 0, la pérdida de carga calculada es 8,97 m²/s² y la presión de vapor a 25°C del agua es 3169 Pa^[24]. Sustituyendo en la ecuación:

$$\frac{101325}{997} - g - 1,136 - \frac{3169}{997} = 109,07 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

6.3 Tramo 3

Tramo que conecta el tanque de miel (T-2) con el tanque de mezcla (M-1).

En el tramo, la tubería utilizada será 1/8" Schedule 5, diámetro interno 0,0094 m, área de sección $6,94 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$, velocidad del fluido 2,5 m/s.

Siguiendo el mismo procedimiento que en los tramos anteriores:

Determinación factor ϵ/D :

- $\phi_{int}=0,0094 \text{ m}$
- *Acero comercial*

Resultado ϵ/D : 0,002

Cálculo del número adimensional de Reynolds:

$$Re = \frac{997 \cdot 2,4 \cdot 0,0094}{10} = 32,9$$

Conocido el factor ϵ/D y el número Re se puede conocer el factor de Fanning mediante el ábaco de Moody.

- $\epsilon/D=0,002$
- $Re=32,9$

Factor de Fanning: 0,045

Los elementos que aparecen en esta línea son 4 codos, 1 ensanchamiento brusco. La longitud de tubería estimada para este tramo será 5,75 m. Y la longitud equivalente 3 m. La pérdida de carga será:

$$h_{AB} = 0,045 \cdot \frac{(5,75 + 3)}{0,0094} \cdot \frac{2,4^2}{2} = 131,05 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Considerando que la presión en los extremos de la línea será igual, la velocidad también será igual, la diferencia de cota de 2 m, y la pérdida de carga calculada; la altura que debe desarrollar la bomba será:

$$\Delta H = g \cdot 2 + 131,05 = 150,65 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta H = 150,65 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 15,35 \text{ m}$$

6.4 Tramo 4

Tramo que lleva mosto desde el tanque me mezcla (M-1) hasta a R-4

En este tramo la tubería utilizada será 1/4" Schedule 5, diámetro interno 0,012 m, área de sección 0,0001 m^2 , velocidad del fluido 2,4 m/s.

Siguiendo el mismo procedimiento que en los tramos anteriores:

Determinación factor ϵ/D :

- $\phi_{int}=0,012$ m
- *Acero comercial*

Resultado ϵ/D : 0,002

Cálculo del número adimensional de Reynolds:

$$Re = \frac{1080 \cdot 2,4 \cdot 0,012}{10^{-3}} = 3,24 \cdot 10^4$$

Conocido el factor ϵ/D y el número Re se puede conocer el factor de Fanning mediante el ábaco de Moody.

- $\epsilon/D=0,002$
- $Re=3,24 \cdot 10^4$

Factor de Fanning: 0,026

Los elementos que aparecen en esta línea son 5 codos, 1 ensanchamiento brusco y 2 válvulas abiertas. La longitud de tubería estimada para este tramo será 5,52 m. Y la longitud equivalente, si se tienen en cuenta todos los elementos y el diámetro, será 8 m. La pérdida de carga será:

$$h_{AB} = 0,026 \cdot \frac{(5,52 + 8)}{0,0094} \cdot \frac{2,4^2}{2} = 91,54 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Considerando que la presión en los extremos de la línea es la misma, la velocidad también será la misma, la diferencia de cota de 2 m, y la pérdida de carga calculada; la altura que debe desarrollar la bomba será:

$$\Delta H = g \cdot 2 + 91,54 = 111,14 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta H = 111,14 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 11,34 \text{ m}$$

Para el $NPSH)_D$ se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$NPSH)_D = \frac{P_{2'}}{\rho} - g z_2 - h_{2'2} - \frac{P_0}{\rho}$$

En el caso del tramo 4, la presión al principio del circuito es 1 atm (101.325 Pa), la densidad de la mezcla es 1.080 kg/m³, la cota (en el caso más desfavorable) es muy cercana a 0, la pérdida de carga calculada es 6,05 m²/s² y la presión de vapor a 25°C del agua es 3169 Pa^[26]. Sustituyendo en la ecuación:

$$NPSH)_D = \frac{101325}{1080} - g - 6,05 - \frac{3169}{1080} = 100,53 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

6.5 Tramo 5

Tramo que lleva hidromiel desde el tanque de los reactores de fermentación (R-1 a R-4) hasta los envejecedores (R-5 a R-12)

En este tramo la tubería utilizada será 1/8" Schedule 5, diámetro interno 0,0094 m, área de sección 6,94·10⁻⁵ m², velocidad del fluido 2,4 m/s.

Siguiendo el mismo procedimiento que en los tramos anteriores:

Determinación factor ϵ/D :

- $\phi_{int}=0,0094$ m

- *Acero comercial*

Resultado ε/D : 0,002

Cálculo del número adimensional de Reynolds:

$$Re = \frac{1080 \cdot 2,4 \cdot 0,0094}{10^{-3}} = 2,54 \cdot 10^4$$

Conocido el factor ε/D y el número Re se puede conocer el factor de Fanning mediante el ábaco de Moody.

- $\varepsilon/D=0,002$
- $Re=2,54 \cdot 10^4$

Factor de Fanning: 0,026

Los elementos que aparecen en esta línea son 5 codos, 1 ensanchamiento brusco y 1 válvulas abiertas. La longitud de tubería estimada para este tramo será 14,43 m. Y la longitud equivalente, si se tienen en cuenta todos los elementos y el diámetro, será 3,8 m. La pérdida de carga será:

$$h_{AB} = 0,026 \cdot \frac{(14,43 + 3,8)}{0,0094} \cdot \frac{2,4^2}{2} = 157,57 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Considerando que la presión en los extremos de la línea es la misma, la velocidad también será la misma, la diferencia de cota de 2 m, y la pérdida de carga calculada; la altura que debe desarrollar la bomba será:

$$\Delta H = g \cdot 2 + 98,91 = 177,17 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta H = 177,17 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 18,09 \text{ m}$$

En el caso del tramo 5, la presión al principio del circuito es 1 atm (101325 Pa), la densidad de la mezcla es 1.080 kg/m^3 , la cota (en el caso más desfavorable) es muy cercana a 0, la pérdida de carga calculada es $77,18 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y la presión de vapor a 25°C del agua es $3.169 \text{ Pa}^{[26]}$. Sustituyendo en la ecuación:

$$(NSPH)_D = \frac{101325}{1080} - 2 \cdot g - 77,18 - \frac{3169}{1080} = 32,30 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

6.6 Tramo 6

Tramo que lleva hidromiel desde el tanque de los reactores de los envejecedores (R-5 a R-12) hasta el tanque de pre-embotellado (T-3).

En este tramo la tubería utilizada será 1/8" Schedule 5, diámetro interno 0,0094 m, área de sección $6,94 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$, velocidad del fluido 2,4 m/s.

Siguiendo el mismo procedimiento que en los tramos anteriores:

Determinación factor ε/D :

- $\varnothing_{int}=0,0094 \text{ m}$
- *Acero comercial*

Resultado ε/D : 0,002

Cálculo del número adimensional de Reynolds:

$$Re = \frac{1080 \cdot 2,4 \cdot 0,0094}{10^{-3}} = 2,54 \cdot 10^4$$

Conocido el factor ε/D y el número Re se puede conocer el factor de Fanning mediante el ábaco de Moody.

- $\varepsilon/D=0,002$
- $Re=2,54 \cdot 10^4$

Factor de Fanning: 0,026

Los elementos que aparecen en esta línea son 3 codos, 1 ensanchamiento brusco. La longitud de tubería estimada para este tramo será 3 m. Y la longitud equivalente, si se tienen en cuenta todos los elementos y el diámetro, será 2,5 m. La pérdida de carga será:

$$h_{AB} = 0,026 \cdot \frac{(3 + 2,5)}{0,0094} \cdot \frac{2,4^2}{2} = 47,53 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Considerando que la presión en los extremos de la línea es la misma, la velocidad también será la misma, la diferencia de cota de 2 m, y la pérdida de carga calculada; la altura que debe desarrollar la bomba será:

$$\Delta H = g \cdot 2 + 47,53 = 67,13 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta H = 67,13 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 6,85 \text{ m}$$

En el caso del tramo 6, la presión al principio del circuito es 1 atm (101.325 Pa), la densidad de la mezcla es 1.080 kg/m^3 , la cota (en el caso más desfavorable) es muy cercana a 0, la pérdida de carga calculada es $77,18 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y la presión de vapor a 25°C del agua es 3.169 Pa ^[26]. Sustituyendo en la ecuación:

$$(NSPH)_D = \frac{101325}{1080} - 2 \cdot g - 77,18 - \frac{3169}{1080} = 32,30 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

7 VIABILIDAD ECONÓMICA

7.1 Coste de inversión

Para estudiar la viabilidad económica de este proyecto se van a calcular, en primer lugar, el coste fijo. Una vez conocido el coste fijo se llevará a cabo el cálculo del coste variable. En último lugar se establece el precio mínimo de venta necesario para igualar los ingresos a los gastos.

Para el cálculo de coste fijo se ha realizado una estimación de los equipos principales y posteriormente de los gastos de explotación. Los costes de los equipos se han calculado mediante correlaciones. Los precios tomados como referencia para el cálculo están extraídos de la calculadora McGraw-Hill Higher^{9[27]}.

Los datos de la calculadora pertenecen al año 2002, por lo que una vez introducido los parámetros el resultado devuelto por la calculadora sería correcto para dicho año. Si se hace la estimación con esos datos los resultados obtenidos estarían desactualizados a un punto tal que no serían representativos. Para eliminar este problema existe un factor llamado Índice CEPCI que corrige los costes de los equipos para obtener resultados actualizados. Se establece entonces una relación entre el índice actual y el índice del año para el cual se ha calculado el precio del equipo, obteniéndose así un factor con el que calcular el precio de los equipos en la actualidad (o en el año del dato existente). Por tanto, se precisa el Índice CEPCI en el año 2002 y el dato más actual posible, que en este caso es el año 2019. El Índice CEPCI para el año 2002 es 390,4, y para el año 2019 el índice es 607,5^[29]. Para ejemplificar el uso de este sistema de corrección se ha calculado el precio de una de las bombas que se van a utilizar en este proyecto.

Para el caso de las bombas, según la calculadora previamente mencionada, tendrían un coste de 1831€ cada una en el año 2002. Pero usando el dato del año 2002 se obtendría un resultado desactualizado. Para corregir este problema se usa la relación entre los índices mencionados anteriormente. La ecuación para la aplicación de estos índices quedaría como se muestra en la ecuación 7.1, a continuación:

$$\frac{C_{2019}}{1831} = \frac{607,5}{390,4} \quad (\text{Ec. 7.1})$$

$$C_{2019} = 2849 \text{ €}$$

Despejando el Coste 2019 se obtiene el precio de una bomba en ese mismo año. Como se observa, al realizar la operación se obtiene el precio actualizado, que es 2849 €. Unos 1.000 € por encima del precio dado por la calculadora.

A continuación, se muestra la tabla 7.1 donde puede verse el precio de cada equipo, el número total de ese equipo que se necesitará y el precio total por equipos. Al final de la tabla se encuentra la suma del coste de los equipos. Las necesidades de los equipos se han ido describiendo a lo largo de apartados anteriores. Respecto a los materiales los tanques serán de acero inoxidable válido para industria alimentaria, es decir, INOX 304, más barato que el INOX 316. Los resultados de los equipos unitarios se han obtenido de la calculadora mencionada al inicio de este apartado. Salvo la embotelladora, que se ha tomado directamente de la utilizada como referencia para el cálculo de embotellado.

⁹ Para los tanques de almacenamiento pequeño la calculadora utilizada presenta un "bug". Por esta razón se ha utilizado la calculadora Matches^[28].CEPCI 2014: 576,1.

Equipo	Coste unidad (€)	N.º de equipos	Coste Total (€)
Bomba	2.849	6	17.095
Tanque Mezcla	21.519	1	21.519
Tanques 1.500L	10.545	14	147.630
Tanque 2.000L	12.713	1	12.713
Tanque 100L	2.320	1	2.320
Chiller/Heater	13.548	1	13.548
Embotelladora	2.113	1	2.113
COSTE TOTAL EQUIPOS PRINCIPALES			216.958

Tabla 7.1 Coste de los equipos principales.

Para calcular el coste total de la planta se ha usado el método de Chilton. Este método es uno de los métodos existentes para estimar el precio total de la planta. Otros métodos con la misma función serían el método de Lang o el método de Gran. El método de Lang es un método que establece un factor según el tipo de planta y lo multiplica por el coste total de los equipos. El método de Gran introduce otros elementos como el material de los equipos y el tipo de instrumentación presente en la planta. El método de Chilton parte del coste total de los equipos principales, el cual se va utilizando en distintos apartados donde se multiplica por diversos factores que establece el método en función de diferentes características de la planta. Los distintos elementos considerados en este método se dividen en coste Directo y coste Indirecto, donde el primero hace referencia a los elementos físicos que forman la planta y el segundo a los costes asociados a la gestión de esos elementos físicos (construcción, beneficios de la empresa que ejecuta la obra y tamaño de la planta). Una vez obtenido los costes asociados a estos elementos se suman para obtener el coste total. En la tabla 7.2 se muestra el método de Chilton aplicado a la planta proyectada en este trabajo. Se muestra el resultado obtenido para cada apartado de dicho método, la suma de los costes directos y la suma de los costes indirectos.

Concepto	Coste (€)
Coste equipos ya instalados	320.485
Tuberías (planta fluidos)	64.097
Instrumentos (poco automatizado)	5.341
Planta interna	128.194
Auxiliares	10.682
Unidad integrada	5.444
Coste directo total	534.243
Ingeniería y Construcción (Simple)	42.731
Proceso especulativo	96.145
Factor de tamaño(pequeño)	10.682
Coste total indirecto	149.558
COSTE TOTAL INVERSION	683.801

Tabla 7.2 Coste total de inversión para la planta

7.2 Coste de producción

Una vez conocidos el coste total de inversión el siguiente paso es calcular el coste de producción. Este es un coste que debe asumirse cada año que se produzca hidromiel siguiendo el procedimiento indicado en este trabajo.

El sistema adoptado para el cálculo del coste de producción considera el coste de materias primas, el coste total de inversión y el coste anual en operarios. El cálculo de los distintos elementos que indica este sistema (mostrado en la tabla 7.3) concluye en la obtención de dos factores llamados A y B. Estos valores se relacionan para obtener el precio asociados a ventas e I+D (Elemento C). La suma de todos los elementos resulta en el coste total de producción.

El coste anual de materias primas se calcula en base al consumo de agua, miel y levadura y el precio de estas. Considerando los cálculos realizados en el apartado “4. Balances de Materia”, se utilizarán 25.200 kg miel/año, 54 m³ agua/año y 35 kg levadura/año. El coste de la levadura se establece en 0,17 €/g^{10[30]}, considerando que el coste de 10 g. es de 1,78 €. El coste del agua, considerando que se utiliza agua de red en Sevilla, el precio se establece en 1,40 + 6,64 €/m^{3[31]} (8,04 €/m³). El coste de la miel se establece en 7,82 €/kg^{11[32]}. Los costes totales asociados se mostrarán en la tabla 7.3 que recoge los costes de producción.

También debe calcularse el coste asociado a mano de obra directa, que se estima según la ecuación 7.2:

¹⁰ Cabe pensar que comprando la levadura en mayores cantidades el precio baje, pero tratándose este trabajo de una ingeniería básica no es descabellado ser pesimista en las previsiones.

¹¹ Al igual que ocurre con la levadura, cabe pensar que una comprar al por mayor reducirá los costes de la miel. Para aproximar el precio se ha calculado el valor medio de las mieles que ofrecen en formatos de 6 kg.

$$MOD = N^{\circ} \cdot \text{operarios} \cdot \text{Salario} \left(\frac{\text{€}}{\text{hora}} \right) \cdot 8.000 \frac{h}{\text{año}} \quad (\text{Ec } 7.2)$$

Se considera 8.000 h como un valor típico anual. La mayoría del tiempo de operación de la planta la carga de trabajo sería baja. Aunque puede haber momentos puntuales con picos de trabajos, por ejemplo, empaquetar todas las botellas que se vayan rellenando, limpiar algún equipo y simultáneamente realizar operaciones de transporte o mezcla, deben tomarse y analizarse muestras semanalmente, así como “vigilar” la temperatura asiduamente. Para estos casos sería mejor contar con dos personas. Por lo que el número de operarios se va a estimar en 1,1, es decir, una persona trabajando todo el tiempo de operación de la planta y otra persona a modo de apoyo o a tiempo parcial. Se considera un coste asociado a cada operario de 6 €/hora. En la tabla 7.3 se recogerán los resultados obtenidos.

Hay otros gastos asociados a la operación de la planta, como el coste de mantenimiento, seguros, impuestos, etc. Según el método seguido estos costes pueden estimarse como un porcentaje de otros gastos calculados. En la tabla 7.3 se puede observar en que coste se basan y que porcentaje de este representan, así como el resultado obtenido.

Elemento de gasto	Estimación	Coste (€/año)
Miel	25.200 kg/año · 7,82 €/kg	197.064
Agua	54 m ³ /año · 8,04 €/m ³	434
Levadura	35 kg/año · 178 €/kg	6.230
Materias primas	-	203.728
Materias auxiliares	5% gastos de mantenimiento	1.709
Elemento A		205.437
Mantenimiento	5% coste capital fija	34.190
Mano de obra directa	-	52.800
Cargas de capital	12% amortización ^{12[33]}	82.056
Seguros	1% coste total de inversión	6.838
Impuestos locales	2% coste total de inversión	13.676
Royalties	1% coste total de inversión	6.838
Elemento B		195.943
Elemento C	30%(A + B)	120.414
Coste Total Producción	A + B + C	521.794

Tabla 7.3 Costes asociados a la producción.

¹² Se ha elegido 12% ya que los equipos suponen la mayor parte del gasto de inversión.

7.3 Precio mínimo del hidromiel frente a payback

Una vez conocido el coste de inversión inicial y el coste total de producción, se puede determinar cuál debe ser el precio de venta del hidromiel según los objetivos marcados. Se van a estudiar las situaciones en las que los ingresos superan los gastos de producción, es decir, no se recupera la inversión inicial, y posteriormente, se van a analizar diversas situaciones para determinar un payback desde 10 hasta 1 año. Los precios típicos están alrededor de 10€/L^{[34][35][36][37]}. Al final de este apartado se mostrará la tabla 7.4 con los resultados de los análisis económicos básicos. En todos los casos analizados se considerará que todo el hidromiel producido se venderá.

Para igualar el coste de producción (521.794 €) el precio del hidromiel será:

$$\frac{574.195 \text{ €}}{70.000 \text{ L}} = 7,45 \text{ €/L}$$

Para calcular el precio mínimo marcando el payback se dividirá el coste de inversión entre los años de payback marcado y se calcula el precio de nuevo, se mostrará el cálculo para un payback de 10 años y se mostrarán todos los resultados en la tabla 7.4.

El coste de inversión total, calculado en el apartado 7.1, es 683.801 €. Para compensar ese gasto de inversión a lo largo de 10 años, cada año deben recuperarse:

$$\frac{683.801 \text{ €}}{10 \text{ años}} = 68.380 \text{ €/año}$$

Sumado al coste de producción anual, los ingresos cada año deben ser:

$$574.195 + 68.380 = 642.575 \text{ €}$$

El precio de venta de cada litro de hidromiel debe ser:

$$\frac{642.575 \text{ €}}{70.000 \text{ L}} = 9,17 \frac{\text{€}}{\text{L}}$$

A continuación, se muestra la tabla 7.4, donde se recogen los resultados obtenidos para precio de venta donde no se recupera la inversión y los precios correspondientes a payback de 10 a 1 año:

Tiempo de recuperación	Ingreso anual precisado	Precio hidromiel (€/L)
Solo cubre gasto de producción	574.195	8,20
10	642.575	9,17
9	650.172	9,28
8	659.670	9,42
7	671.880	9,59
6	688.161	9,83
5	710.955	10,15
4	745.145	10,64
3	802.128	11,46
2	916.095	13,09
1	1.257.996	17,97

Tabla 7.4 Precio de hidromiel por litro restringiendo el payback.

8 CONCLUSIONES

En este apartado se realiza un recorrido a modo de resumen del diseño de una planta de producción de 70.000 L/año de hidromiel. Para ello se han llevado a cabo una serie de balances que han mostrado de qué modo se puede alcanzar el objetivo propuesto.

Se ha decidido realizar los cuatro lotes de manera continua, y no espaciados a lo largo del mes. Esta elección busca minimizar los ciclos de enfriamiento y calentamiento de la miel. Conocida la viscosidad de la miel según la temperatura¹³ y de acuerdo con el grosor de aislante necesario, se ha impuesto que una vez alcanzada la temperatura objetivo la miel seguirá teniendo un comportamiento suficientemente fluido durante 48 horas. Para realizar todos los lotes de un mes en un ciclo de calentamiento se ha buscado que cada lote se produzca en menos de 4 h, pudiendo así realizar la producción mensual en dos jornadas de 8 h. Observando los resultados de los balances de materia, es posible realizar cada lote en un tiempo menor de cuatro horas. Por lo que es posible, con los sistemas elegidos, realizar los cuatro lotes en un único ciclo de calentamiento.

En vista de los resultados de los balances de materia, el menor tamaño de tubería ANSI permite llevar a cabo la producción mensual, a excepción de las corrientes 1 a 3 y la corriente 9. En las corrientes 1 a 3 se da la excepción porque hay que cumplir la restricción de caudal que impone la columna de carbón activado. El caudal de la corriente 9 lo impone la velocidad de vaciado del tanque de mezcla, ya que se busca realizar todas las mezclas en un tiempo finito y para ello hay que acelerar el transporte hasta los reactores. Tanto para las corrientes 1 a 3 como para la corriente 9, el grosor de tubería seleccionado cumple con las respectivas restricciones dadas por el proceso y la velocidad de los líquidos se mantienen dentro de las velocidades consideradas típicas. El resto de las operaciones que deben llevarse a cabo en la fabricación de hidromiel pueden espaciarse en el tiempo, por lo que las tuberías más pequeñas cumplen con las necesidades de estos puntos del proceso. Al no existir una limitación de tiempo por el cambio de las propiedades físicas, como ocurría con la miel, el resto de las operaciones pueden realizarse de manera más espaciada en el tiempo.

Algunas fases de la fabricación precisan acondicionamiento térmico. Los equipos donde se dan estas operaciones contarán con una camisa, y todos, excepto el mezclador, estarán protegidos por un aislamiento térmico. El mezclador no cuenta con aislamiento ya que el proceso de mezcla es muy corto, y en base a los resultados se puede llevar a cabo la mezcla antes de que llegue a enfriarse. Los procesos de fermentación requieren acondicionamiento térmico dependiendo de la época del año. Los resultados muestran que con el adecuado aislamiento, las fases de calentamiento y enfriamiento pueden ocurrir de forma puntual y que aun así el mosto siempre permanezca en el rango de temperaturas deseado. Se ha elegido este sistema ya que la energía que debe aportarse o retirarse es muy pequeña, y los equipos necesarios para controlar la temperatura del agua requieren un caudal mínimo. Con el sistema elegido, se puede observar que se podrían cumplir los caudales mínimos de los equipos de calentamiento/enfriamiento de agua sin calentar o enfriar el mosto más allá de lo buscado. Con los caudales y temperaturas elegidos solo sería necesario calentar una vez a la semana, ya que los cuatro reactores se calentarían en un total de 6 horas. La frecuencia de enfriamiento de los envejecedores sería incluso menor.

Una vez conocida la disposición de los equipos, se ha calculado cuales deberían ser las alturas que deben desarrollar las bombas por tramos. Los caudales de cada tramo los determina el balance de materia. Para calcular las alturas necesarias se ha aplicado la ecuación de Bernoulli para cada caso. Para el cálculo de la pérdida de carga se ha utilizado el número adimensional de Reynolds en combinación con el ábaco de Moody. De esta forma se ha obtenido la altura que debe desarrollar cada bomba de los distintos tramos del proceso.

Una vez conocidos los equipos y las materias primas se ha realizado el análisis de los costes de inversión y de producción. Se ha realizado una comparativa de los precios mínimos de venta por litro para distintos paybacks. Con el payback a 6 años se podría mantener el precio por debajo de 10 €, el precio de venta necesario aumenta escalonadamente por cada año de venta reducida hasta situarse por encima de 17 € para

¹³ El estudio del que se ha obtenido la información está referenciado en el apartado 5.1 Licuación de la miel.

una payback de un año, un precio que sería alto considerando que el producto no tiene tradición en esta zona. A la hora de decidir cuál debería ser el precio por litro de la hidromiel serían necesarios elementos que se desconocen, por ejemplo, que precio están dispuestos a pagar los clientes por el producto, los diversos intereses asociados a la financiación inicial o anual del proyecto, la inserción en años posteriores de mayor diversidad de tipos de hidromiel que podrían venderse a un mayor precio, que precios ofrecen otras empresas dedicadas a la venta del mismo producto o la variación de costes asociados a la producción. Lo que sí se puede sacar en claro es que con el precio por litro por debajo de 10 €, la producción y venta de hidromiel sería rentable.

Si se comparan las producciones de 50.000 y 70.000 L/año, se puede apreciar que el coste de la inversión inicial es muy similar, esto provoca que la inversión a recuperar sea prácticamente la misma, con la diferencia de que en el primer caso hay 20.000 L menos sobre los que apoyar esta carga económica. En el coste de producción la diferencia es mayor, alrededor de 80.000 euros, o lo que es lo mismo, 4 € por litro extra producido. Aún así, atendiendo al precio por litro de cada uno frente al payback, resulta más rentable la producción de 70.000 L/año, con una diferencia de precio por litro de 2 € para los casos de 4 hasta 10 años.

Atendiendo a estas razones y considerando que todo el hidromiel producido puede venderse, los resultados indican que para este tipo de planta de producción (equipos de acero inoxidable, poca automatización y planta pequeña) es más rentable producir 70.000 que 50.000 L/año si se tiene acceso al volumen de financiación requerido. Por la forma en la que se produce el hidromiel todo indica que existe un margen en el aumento de la producción manteniendo un nivel de automatización bajo, y un número de operarios bajo, lo que aumentaría aún más la rentabilidad.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pedro Ortega. (2018, 1 junio). HIDROMIEL. La bebida más antigua del mundo. Recuperado de: <https://loopulo.com/hidromiel/hidromiel-bebida-alcoholica-mas-antigua/>
- [2] Luis Lerate. (No especifica fecha). HIDROMIEL. Recuperado de: <https://mitologias.readthedocs.io/en/latest/modules/mitologia/hidromiel.html>
- [3] Colaboradores de Wikipedia. (2020, 21 julio). Hidromiel. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidromiel>
- [4] Viking Sannhet. (2018, 24 junio). Hidromiel. Recuperado de: <https://vikingsannhet.wordpress.com/2018/06/24/hidromiel/>
- [5] Technicznym Inżynierów i Techników Przemysłu Spożywczego. (2007, 9 noviembre). (NoCE: PL/TSG/007/0034/06.09.2005) Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2007:267:0040:0045:ES:PDF>
- [6] Comisión Europea (2016, 27 mayo) Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado de: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016XC0527\(01\)&from=ES](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016XC0527(01)&from=ES)
- [7] Mario Visquert Fas (2015, noviembre) Influencia de las condiciones térmicas en la calidad de la miel. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59393/Visquert%20-%20Influencia%20de%20las%20condiciones%20t%C3%A9rmicas%20en%20la%20calidad%20de%20la%20miel.pdf?sequence=1>
- [8] Mangrove jack's. (©2020). M05 mead yeast 10g. Recuperado de: https://mangrovejacks.com/products/mead-m05-yeast-10g?_pos=1&_sid=74e252792&_ss=r
- [9] Carolina Acosta Romero (2012). Evaluación de la fermentación alcohólica para la producción de hidromiel. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/12251>
- [10] (Sin autor ni fecha especificada) Tipo de hidromiel. Recuperado de: <https://www.todohidromiel.com/tipos-de-hidromiel/>

- [11] (Sin autor ni fecha especificada). Tipos de hidromiel. Recuperado de: <https://bebidasalcoholicas.org/hidromiel/tipos-de-hidromiel/>
- [12] Home brew. (Sin fecha especificada). Introduction to mead. How to make mead. Recuperado de: <https://homebrewsupply.com/learn/introduction-to-mead-how-to-make-mead.html>
- [13] Fabricar Cerveza (2016, 6 junio) Cómo elaborar hidromiel. Recuperado de: <https://www.fabricarcerveza.es/como-elaborar-hidromiel/>
- [14] H.H. Jon (Sin fecha especificada). How to make mead. Recuperado de: https://www.homebrewing.org/How-to-Make-Mead_ep_40-1.html
- [15] Pure aqua inc. (Sin fecha especificada). Filtro de medio comercial con tanque FRP. Recuperado de: <https://es.pureaqua.com/filtro-de-medios-comercial-con-tanque-frp/>
- [16] American piping products. (Sin fecha especificada). Pipe dimensión chart. Recuperado de: <https://www.amerpipe.com/wp-content/uploads/2015/10/APP-chart-v7-web.pdf>
- [17] Universidad Granada (2010). Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas. Recuperado de: <https://www.ugr.es/~aulavirtualpfc/qi/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>
- [18] Industrias Céspedes (Sin fecha especificada) Llenadora mini con filtro y bomba. Recuperado de: <https://www.icespedes.com/catalog/es/maquinaria-llenadoras/109-llenadora-mini-con-filtro-y-bomba.html>
- [19] TuTiempo (Sin fecha especificada). Clima Sevilla Enero-2010. Recuperado de: <https://www.tutiempo.net/clima/01-2010/ws-83910.html>
- [20] Diaterm (2020, 17 abril). Productor de aislamiento térmico. Recuperado de: <https://diaterm.com/>
- [21] Policarpo Briones. (2018, 21 febrero). Recuperado de: <https://aislamientosbriones.com/productos/>
- [22] Marta Palomo Cano. (2017, 3 junio). Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos. Recuperado de: http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf
- [23] Airborne honey (2020) Information for manufacturers. Recuperado de: <https://www.airborne.co.nz/pages/information-for-manufacturers>
- [24] Guadanatur (Sin autor ni fecha especificada) Características físicas de la miel: Recuperado de <https://guanatur.es/caracteristicas-fisicas-de-la-miel/>

- [25] Industrias Céspedes e hijos. (© 2020). Recuperado de: <https://www.icespedes.com/catalog/es/siemprellenasautov/171-siemprellenas-autovaciantes-1000-a-20000-l-c-camisa.html>
- [26] (No especifica autor, fecha). Calor específico del agua entre 0 oC y 100 oC. Recuperado de: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/caloresph2o.pdf
- [27] Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus, Ronald E. West (2003). Equipment Costs. Recuperado de: Equipment Costs for Plant Design and Economics for Chemical Engineers - 5th Edition (mhhe.com)
- [28] Matches (2014) Equip cost. Recuperado de: <https://www.matche.com/equipcost/Tank.html>
- [29] Scott Jenkins (2020, 20 Marzo) Chemical Engineering Plant Cost Index Annual Average. Recuperado de: <https://www.chemengonline.com/2019-chemical-engineering-plant-cost-index-annual-average/>
- [30] El comidista (2020) Levadura para hidromiel M05, Mangrove Jack's. Recuperado de: <https://www.cocinista.es/web/es/levadura-para-hidromiel-m05-23-l-4027.html>
- [31] Manuel Ferro (23 abril 2021) Facturas EMASESA. Recuperado de: <https://tarifasdeagua.es/empresas/emasesa/facturas#precio-uso-no-domestico-emasesa>
- [32] El rebost de L'avi Lluís (2020) Variedad de miel. Recuperado de: <https://www.rebostavilluis.com/es/comprar-miel/>
- [33] Base imponible (2015) Agencia tributaria. Recuperado de: https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/_Segmentos_/Empresas_y_profesionales/Empr esas/Impuesto_sobre_Sociedades/Periodos_impositivos_a_partir_de_1_1_2015/Base_imponible/Amortizacion/Tabla_de_coeficientes_de_amortizacion_lineal_.shtml
- [34] Valhalla (2021). Hidromiel clásica. Recuperado de: <https://valhallahidromiel.com/es/hidromiel/botella-de-hidromiel-clasica-marca-valhalla-de-75cl-8414606932085-100175.html>
- [35] Rasmia(2021). Hidromiel clásica. Recuperado de: <https://www.hidromielrasmia.com/producto/clasica/>
- [36] La Runa(2021). Hidromiel dulce. Recuperado de: <https://larunahidromiel.com/producto/hidromiel-dulce-75cl/>

[37] Hidromiel hasgard (2021). Hidromiel seca. Recuperado de:
<https://hidromielasgard.com/es/hidromiel/126-hidromiel-seca-75cl.html>

10 ANEXO I: CÁLCULOS ECONÓMICOS PARA 50.000L/AÑO

El rendimiento económico en para este apartado se va a calcular siguiendo el diseño de producción de 70.000 L/año y escalándolo hacia abajo¹⁴.

Basado en los balances de materia originales se puede determinar que para alcanzar este objetivo la producción debe ser de 4.166 L/mes, lo que manteniendo los reactores actuales permite eliminar un reactor principal y dos envejecedores. Respecto a otros equipos el número de bombas se mantendría, ya que los tramos donde es necesario impulsar los distintos líquidos serían los mismos, aunque en algunos casos, como el trasiego hasta el envejecedor, la altura a desarrollar sería menor (su efecto en el gasto de inversión inicial sería despreciable). La columna de carbón activado sería la misma, ya que la elegida en primer lugar es la de menor caudal posible. El tanque de agua podría ser de menor tamaño, ya que se prepararían tres lotes serie y no cuatro. Los mismo ocurre con el tanque de miel. El tanque de mezcla sería del mismo tamaño ya que los lotes seguirían siendo de 1.500 L. El resto de los tanques y la embotelladora se someten al mismo criterio.

En la tabla I.1 se muestran los costes de los equipos principales para la producción expresada.

Equipo	Coste unidad (€)	N.º de equipos	Coste Total (€)
Bomba	2.849	6	17.095
Tanque Mezcla	21.519	1	21.519
Tanques 1.500L	10.545	14	147.630
Tanque 1.200L	9.121	1	9.121
Tanque 100L	2.320	1	2.320
Chiller/Heater	13.548	1	13.548
Embotelladora	2.113	1	2.113
COSTE TOTAL EQUIPOS PRINCIPALES			213.346

Tabla I.1 Coste equipos estimación 50.000 L/año.

Aplicando el método de Chilton se calculan los costes totales de inversión. En la tabla I.2 se muestran los resultados.

¹⁴ Antes de leer este ANEXO es recomendable leer el apartado 7. Viabilidad económica, donde se expresa como se han obtenido los costes asociados a equipos y materias primas.

Concepto	Coste (€)
Coste equipos ya instalados	320.019
Tuberías (planta fluidos)	64.000
Instrumentos (poco automatizado)	5.300
Planta interna	128.008
Auxiliares	10.650
Unidad integrada	5.333
Coste directo total	533.227
Ingeniería y Construcción (Simple)	42.670
Proceso especulativo	96.005
Factor de tamaño(pequeño)	10.667
Coste total indirecto	149.342
COSTE TOTAL INVERSION	682.569

Tabla I.2 Coste de inversión total para 50.000 L/año.

Referente al coste de materias primas varían las cantidades, pero no el precio, para la producción marcada la cantidad de miel utilizada será 17.892 kg/año, 52 m³/año y 24,5 kg de levadura/año. La mano de obra no varía, ya que las operaciones a realizar son las mismas.

Elemento de gasto	Estimación	Coste (€/año)
Miel	17.892 kg/año·7,82 €/kg	139.915
Agua	52 m ³ /año·8,04 €/m ³	418
Levadura	24,5 kg/año·178 €/kg	4.361
Materias primas	-	144.694
Materias auxiliares	5% gastos de mantenimiento	1.706
Elemento A		146.400
Mantenimiento	5% coste capital fijo	34.128
Mano de obra directa	-	72.000
Cargas de capital	15% coste total de inversión	102.380
Seguros	1% coste total de inversión	6.825
Impuestos locales	2% coste total de inversión	13.651
Royalties	1% coste total de inversión	6.825
Elemento B		235.809
Elemento C	30%(A + B)	114.662
Coste Total Producción	A + B + C	496.871

Tabla I.3 Coste de producción de 50.000 L.

En la tabla I.4 se muestran los resultados de precio mínimo de venta para distintos paybacks.

Tiempo de recuperación	Ingreso anual precisado	Precio hidromiel (€/L)
10	565.127	11,30
9	572.712	11,45
8	582.192	11,64
7	594.380	11,89
6	610.632	12,21
5	633.384	12,69
4	667.513	13,35
3	724.394	14,49
2	838.155	16,76
1	1.179.440	23,59

Tabla I.4 Precio por litro de hidromiel frente a payback impuesto.

De esta forma, se puede establecer una comparativa entre el precio por litro que al que debe venderse el litro de hidromiel para recuperar la inversión según se fabriquen 50.000 o 70.000 L/año.

11 ANEXO II: DISPOSICIÓN DE REACTORES

Este anexo tiene como finalidad expresar la configuración elegida para el conjunto de los reactores primarios y secundarios, y a partir de esta determinar la distancia entre ellos para justificar el cálculo de pérdida de carga realizado.

La configuración elegida tiene como objetivo ser compacta. Y la separación debe permitir el paso de una persona entre los reactores para labores de mantenimiento. Por esta razón se disponen en forma A-B-A y la distancia entre las paredes de los reactores elegida es 0,75 m. La numeración se corresponde con la numeración de los reactores en el diagrama de procesos.

A continuación, se muestra un esquema de la configuración:

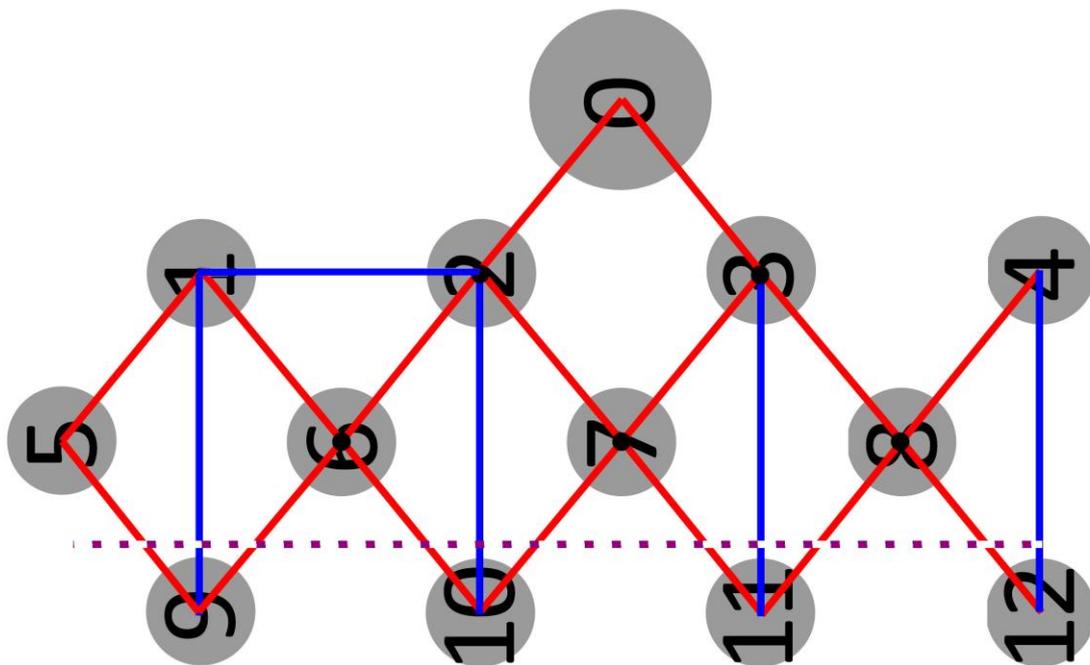


Figura Anexo-II.1. Representación esquemática de la disposición de los reactores.

Las líneas del mismo color representan la misma distancia. Considerando los diámetros de los reactores y la separación elegida entre reactores, las líneas rojas representan una distancia de 1,95 m (0,75 separación + $0,9 \times 2$ radios de reactores).

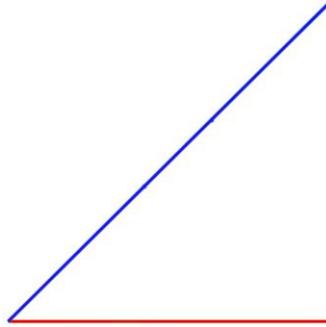


Figura Anexo-II.2. Representación de triángulo imaginario para la determinación de las longitudes.

Las líneas rojas forman los catetos mientras que la azul representa la hipotenusa. La hipotenusa será representada en la ecuación con una x . Conocida la longitud de la línea roja y aplicando el teorema de Pitágoras:

$$2 \cdot 1,95 = x^2$$

$$x = 2,76$$

Por tanto, la distancia entre los reactores alineados será 2,76 m. Esta información se utilizará para determinar las longitudes que deben recorrer los líquidos en el trasiego entre reactores, para poder así calcular la pérdida de carga en la línea.

Para llevar el hidromiel hasta los envejecedores habrá una línea principal que pase entre estos, representada por la línea discontinua. Para unir la línea principal con la entrada a los reactores se utilizarán tuberías lo mas cortas posibles, es decir, perpendiculares a la línea principal.

Considerando la bomba en la línea de los reactores 1 a 4, la distancia hasta el comienzo de la línea principal será $3/4$ de la longitud que representa la línea azul. Esto es fácil de comprender visualizando la figura y observando que la diferencia vertical entre los reactores 4 y 8 es la mitad de la línea azul y que la diferencia entre el reactor 8 y la línea discontinua es la mitad de la distancia entre los reactores 4 y 8:

$$\frac{1}{2} \text{ línea azul} + \frac{1}{4} \text{ línea azul} = \frac{3}{4} \text{ línea azul}$$

$$\frac{3}{4} \cdot 2,76m = 2,07m$$

Conocida la distancia entre la línea principal de alimentación a los envejecedores (línea discontinua) y el reactor 4 (el más cercano a la bomba) y las distancias entre reactores, es posible calcular la longitud de la línea para evaluar la pérdida de carga.

12 ANEXO III: FICHAS TÉCNICAS EQUIPOS

En esta sección se recogen las características que deben tener los equipos para llevar a cabo la producción de 70.000 L/año de hidromiel. La finalidad de esto es alcanzar una idea general del tamaño y forma de estos. Conociendo la forma y dimensiones se puede determinar de un modo aproximado el coste de inversión inicial que el proceso que se estudia en este trabajo conllevaría para poder realizarse.

Se enumerarán los equipos que posteriormente se van a recoger en las distintas fichas técnicas mencionando la utilidad en el proceso. Sistema de intercambio con carbón activo para la eliminación del cloro. Sistema de ablandamiento de aguas para reducir las incrustaciones y reducir la incidencia del agua en el sabor del producto final. Sistema de almacenamiento de agua, para de este modo poder tratar el agua a un ritmo distinto del marcado por las necesidades del proceso. Tanque para almacenamiento de la miel, para tener acceso a la miel necesaria para la producción mensual. Reactor de mezcla con camisa, para preparar el mosto y obtener un resultado suficientemente homogéneo. Cuatro tanques de fermentación primaria, con encamisado para el acondicionamiento de las levaduras y aislamiento térmico para reducir las pérdidas de calor. Ocho tanques de fermentación secundaria, con camisa para enfriar la mezcla y aislamiento térmico para evitar el calentamiento del contenido. Sistema de calentamiento de agua, debe ser sencillo su puesta en marcha y apagado, así como trabajar con caudales de agua pequeños. Sistema de enfriamiento de agua, debe seguir los mismos preceptos que el sistema de calentamiento de agua. Tanque de almacenamiento de agua de calentamiento/refrigeración, será el mismo, ya que estos procesos nunca se darán simultáneamente, el objeto de este equipo es aumentar todo lo posible la reutilización del agua. Tanque de almacenamiento final, donde se comprobará si se requiere llevar a cabo o no un proceso coagulación-floculación. Tanque de coagulación-floculación, en este se añadirían los aditivos pertinentes y se recogerían los posos generados antes del embotellado. Embotelladora automática, este elemento es preciso ya que el embotellado manual exigiría una alta carga de trabajo para una sola persona, considerando además que esta tarea no se daría de forma homogénea, sino según la salida de los lotes producidos.

TANQUE DE AGUA T-1



DATOS DE DISEÑO

CAPACIDAD (m³)	1,5
DIÁMETRO INT (mm)	1.130
DIÁMETRO EXT (mm)	1.131
ALTURA (mm)	1.500
MATERIAL	AISI-304
AISLAMIENTO	NO
<i>MATERIAL</i>	
<i>GROSOR (m)</i>	
CAMISA TÉRM.	NO

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA	25
PRESIÓN (bar)	1
PESO DE OPERACIÓN (kg)	1200
DENSIDAD DEL CONTENIDIO (kg/m³)	1000
VOLUMEN ÚTIL (%)	100%
LÍQUIDO	AGUA

CONEXIONES

ENTRADAS	SALIDAS
-Agua procedente de la red.	-Para el proceso. -Para chiller.

OBSERVACIONES

La imagen que se ha tomado es tan solo un ejemplo para obtener una idea aproximada.
El uso del volumen total

TANQUE DE MIEL T-2



DATOS DE DISEÑO

CAPACIDAD (m³)	1,5
DIÁMETRO INT (mm)	1.130
DIÁMETRO EXT (mm)	1.131
ALTURA (mm)	1.500
MATERIAL	AISI-304
AISLAMIENTO	SÍ
<i>MATERIAL</i>	LANA DE ROCA
<i>GROSOR (m)</i>	0,03
CAMISA TÉRM.	NO

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA	25
PRESIÓN (bar)	1
PESO DE OPERACIÓN (kg)	1680
DENSIDAD DEL CONTENIDIO (Kg/m³)	1400
VOLUMEN ÚTIL (%)	80
LÍQUIDO	MIEL

DATOS CALEFACCIÓN

FLUIDO	AGUA	T. FLUIDO (°C)	50
CAUDAL (L/s)	0,17		

CONEXIONES

ENTRADAS	SALIDAS
-Procedente camión descarga.	-Para el proceso.

OBSERVACIONES

La imagen que se ha tomado es tan solo un ejemplo para obtener una idea aproximada.

MEZCLADOR M-1



DATOS DE DISEÑO

CAPACIDAD (m³)	2
DIÁMETRO INT	1.180
DIÁMETRO EXT	1.181
ALTURA (mm)	2.000
MATERIAL	AISI-304
AISLAMIENTO	NO
MATERIAL	
GROSOR (m)	
CAMISA TÉRM.	SÍ, 2m ²

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA	40
PRESIÓN (bar)	1
PESO DE OPERACIÓN (kg)	1620
DENSIDAD DEL CONTENIDIO (Kg/m³)	1103,70
VOLUMEN ÚTIL (%)	80
LÍQUIDO	HIDROMIEL

DATOS CALEFACCIÓN

FLUIDO	AGUA	T. FLUIDO (°C)	50
CAUDAL (L/s)	0,17		

CONEXIONES

ENTRADAS

SALIDAS

-Procedente camión de descarga.

-Para el proceso.

REACTOR R-[1-4]**DATOS DE DISEÑO**

CAPACIDAD (m³)	1,5
DIÁMETRO INT	1.130
DIÁMETRO EXT	1.131
ALTURA (mm)	1.500
MATERIAL	AISI-304
AISLAMIENTO	SÍ
MATERIAL	LANA DE ROCA
GROSOR (m)	0,02
CAMISA TÉRM.	SÍ, 2m ²

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA	20-30
PRESIÓN (bar)	1
PESO DE OPERACIÓN (kg)	1620
DENSIDAD DEL CONTENIDO (Kg/m³)	1103,70
VOLUMEN ÚTIL (%)	73,3
LÍQUIDO	HIDROMIEL

DATOS CALEFACCIÓN

FLUIDO	AGUA	TEMPERATURA FLUIDO (°C)	40
CAUDAL (kg/s)	0,17		

CONEXIONES**ENTRADAS**

- Hidromiel procedente del mezclador.
- Camisa. Agua para calentar la mezcla.
- Agua para limpieza del interior del fermentador.

SALIDAS

- Salida de hidromiel fermentada.
- Salida de agua de camisa.
- Salida agua de limpieza. -Salida de CO₂ producido por la reacción de fermentación.

REACTOR R-[5-12]



DATOS DE DISEÑO

CAPACIDAD (m³)	1,5
DIÁMETRO INT	1.130
DIÁMETRO EXT	1.131
ALTURA (mm)	1.500
MATERIAL	AISI-304
AISLAMIENTO	SÍ
MATERIAL	POLIURETANO
GROSOR (m)	0,05
CAMISA TÉRM.	SÍ, 2m ²

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA	10-15
PRESIÓN (bar)	1
PESO DE OPERACIÓN (kg)	1620
DENSIDAD DEL CONTENIDIO (Kg/m³)	1103,70
VOLUMEN ÚTIL (%)	73,3
LÍQUIDO	HIDROMIEL

DATOS CALEFACCIÓN

FLUIDO	AGUA	TEMPERATURA FLUIDO (°C)	1
CAUDAL (kg/s)	0,17		

CONEXIONES

ENTRADAS

-Hidromiel procedente del mezclador. Camisa. Agua para calentar la mezcla. Agua para limpieza del interior del fermentador.

SALIDAS

-Salida de hidromiel fermentada. Salida de agua de camisa. Salida agua de limpieza. Salida de CO₂ producido por la reacción de fermentación.

TANQUE T-3



DATOS DE DISEÑO

CAPACIDAD (m ³)	2
DIÁMETRO INT	1.180
DIÁMETRO EXT	1.181
ALTURA (mm)	2.000
MATERIAL	AISI-304
AISLAMIENTO	SÍ
<i>MATERIAL</i>	
<i>GROSOR (m)</i>	
CAMISA TÉRM.	SÍ, 2m ²

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA	10-15
PRESIÓN (bar)	1
PESO DE OPERACIÓN (kg)	1620
DENSIDAD DEL CONTENIDIO (Kg/m ³)	1103,70
VOLUMEN ÚTIL (%)	73,3
LÍQUIDO	HIDROMIEL

CONEXIONES

ENTRADAS

SALIDAS

-Envejecedor. Agua de limpieza. Disolución clarificadora en agua.

-Hacia embotellado. Agua de limpieza. Flóculos en el fondo.

OBSERVACIONES

Se mezclará la disolución de clarificador con el hidromiel si fuera necesario. La filtración se producirá en la propia embotelladora.

EMBOTELLADORA E-10**DATOS DE DISEÑO**

MATERIAL	Acer. Inox. AISI-
BOTELLAS/h	500
CAUDAL(l³/h)	375
Nº BRAZOS	4
FILTRO PROPIO	SÍ
SIST. BOMBEO	SÍ

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA (°C)	Ambiente
VISCOSIDAD (Cp)	1,00
DENSIDAD (Kg/m³)	1103

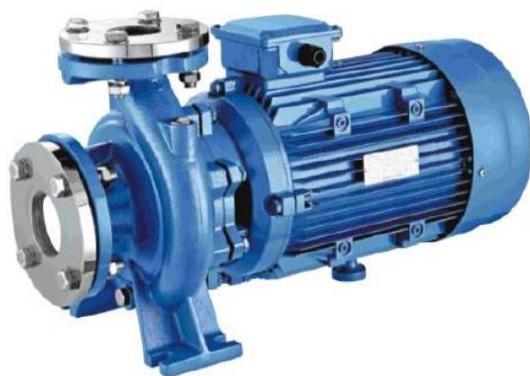
CONEXIONES**ENTRADAS**

- Entrada hidromiel.
- Entrada agua de limpieza.

SALIDAS

- Salida restos hidromiel.
- Salida agua limpieza.

OBSERVACIONES

BOMBA B-1**DATOS DE DISEÑO**

ANCHO (mm)	242
LARGO (mm)	466
ALTURA (mm)	296
MATERIAL	Hierro fundido y acero inox.
AISLAMIENTO	NO
<i>MATERIAL</i>	
<i>GROSOR (m)</i>	
CAMISA TÉRM.	NO

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA	25
PRESIÓN MÁX (bar)	1,16
CAUDAL OPERACIÓN (L/h)	400

CONEXIONES

ENTRADAS	SALIDAS
-Agua procedente de la red.	-Columna de carbón activado.

OBSERVACIONES

COLUMNA CARBÓN ACTIVADO C-1



DATOS DE DISEÑO

CAPACIDAD (m³/h)	0,7
DIÁMETRO INT (mm)	-
DIÁMETRO EXT (mm)	178
ALTURA (mm)	1.118
MATERIAL	AISI-304 y Fibra Reforzada
AISLAMIENTO	NO
<i>MATERIAL</i>	
<i>GROSOR (m)</i>	
CAMISA TÉRM.	NO

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA	25
PRESIÓN (bar)	1,16
CAUDAL OPERACIÓN (L/h)	400
AUTOLAVADO	SÍ

CONEXIONES

ENTRADAS	SALIDAS
-Agua procedente de la red.	-Tanque de almacenamiento de agua de proceso.

OBSERVACIONES

COOLER-HEATER (C-1/Ch-1)**DATOS DE DISEÑO****DIMENSIONES**

LONGITUD (mm)	680
ALTURA (mm)	790
ANCHO (mm)	420

OTRAS ESPECIFICACIONES

 AISLAMIENTO 	NO
<i>MATERIAL</i>	
<i>GROSOR (m)</i>	

DATOS DE OPERACION

TEMPERATURA MÍN. (°C):	1
TEMPERATURA MÁX. (°C):	50
PRESIÓN (bar)	1
CAUDAL OPERACIÓN (L/h)	0,17
TIPO DE OPERACIÓN	Manual

CONEXIONES

ENTRADAS	SALIDAS
-Tanque de agua de corrientes auxiliares o circuito de corrientes auxiliares.	-Circuito de corrientes auxiliares.

OBSERVACIONES

-Las medidas especificadas han sido tomadas de un equipo utilizado como referencia para el tamaño aproximado de este tipo de equipos: <http://www.aode-machinery.com/water-cooled-industrial-chiller-15440750743927237.html>