



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DE UNA MICROPLANTA PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL A PARTIR DE MALTA

AUTOR: ENRIQUE MEGIA CARRASCO

TUTORA: MARIA FERNANDA LÓPEZ PÉREZ

Curso Académico: 2016-17

DOCUMENTOS:

I – MEMORIA

II – PLANOS

III – PRESUPUESTO

I - MEMORIA

INDICE MEMORIA

1. OBJETO DEL PROYECTO	7
2. MOTIVACIÓN PERSONAL	7
3. INTRODUCCIÓN	8
3.1. Definición de cerveza Artesanal	8
3.2. Situación actual de la cerveza artesanal en España	9
4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	11
4.1. Ubicación	11
4.2. Distribución de la planta.....	11
4.3. Descripción de los tipos de cerveza elaborar	12
4.3.1. Cerveza Pale Ale	13
4.3.2. Cerveza Brown Ale.....	13
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y MATERIAS PRIMAS.....	14
5.1. Descripción de las materias primas.....	14
5.1.1. Malta.....	14
5.1.2. Lúpulo	15
5.1.3. Levadura	17
5.1.4. Agua.....	17
5.2. Descripción del proceso	20
5.2.1. Recepción de materias primas	21
5.2.2. Molturado o molienda.....	21
5.2.3. Maceración	23
5.2.4. Filtrado – lavado del bagazo.....	29
5.2.5. Cocción	30
5.2.6. Enfriado	33
5.2.7. Fermentación.....	33
5.2.8. Maduración	35
5.2.9. Clarificación	36
5.2.10. Envasado.....	36
5.2.11. Limpieza y desinfección.....	37
5.2.11. Cronograma del proceso	39
6. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO SELECCIONADO	40
6.1. Molino de Malta:.....	40

6.2. Equipo de macerado, filtrado y cocción:.....	41
6.2.1. Características generales:.....	41
6.2.2. Características cuba de maceración y cocción	43
6.2.3. Características cuba de filtrado	43
6.2.4. Características cuba Whirpool.....	44
6.3. Equipo de intercambiador de placas/aireador:.....	44
6.4. Fermentador/madurador:.....	46
6.5. Embotelladora:	47
6.6. Otros equipos necesarios	47
6.6.1. Filtro de carbón activo.....	47
6.6.2. Tanque agua caliente.....	48
6.6.3. Tanque de agua fría:.....	49
6.6.4. Generador de vapor:	50
6.6.5. Equipo de frio	50
6.6.6. Tapadora de botellas	51
6.6.7. Etiquetadora.....	51
6.6.8. Bombas:.....	52
6.6.9. Báscula:.....	52
6.6.10. Frigorífico:.....	52
6.6.11. Instrumental de laboratorio:	52
7. CÁLCULOS	53
7.1. Volúmenes y cantidades de materia prima necesarios.....	53
7.2. Dimensionamiento para la elaboración de lotes de 1000 litros.	55
7.3. Cálculo dimensión de los fermentadores.....	61
7.3.1. Volumen, altura y diámetro	61
7.3.2. Cálculo de espesor	63
7.4. Cálculo proceso de enfriado mosto.....	67
7.4.1. Cálculo caudales y T^a salida de agua	67
7.4.2. Cálculo superficie del intercambiador.....	69
7.5. Cálculo potencia requerida de la planta.....	71
8. COSTO DE PRODUCCIÓN DE UN LOTE DE CERVEZA	72
8.1. Costo materia prima	72
8.2. Costo agua	73
8.3. Costo electricidad.....	74

8.4. Costo total	76
9. NORMATIVA	77
10. BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEB CONSULTADAS	79
10.1. Bibliografía consultada	79
10.2. Páginas web consultadas:.....	79

1. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto tal y como se recoge en el título es, el diseño de una microplanta para la elaboración de cerveza artesanal a partir de malta. Los objetivos principales que se persiguen son:

- Diseño del equipo necesario para la producción de lotes de 1000 litros de cerveza artesanal.
- Diseño y cálculo de fermentadores e intercambiadores de calor.
- Planificación de la distribución de las salas del local.
- Planificación de la distribución de los equipos en planta.
- Cálculo del presupuesto para la compra e instalación de todos los equipos necesarios para la producción de cerveza artesanal.
- Descripción detallada del proceso de elaboración de cerveza artesanal.
- Cálculo de recursos necesarios y costos para la elaboración de un lote de cerveza.

En el proyecto no se tratarán en ningún momento etapas previas al macerado y posteriores al embotellado.

2. MOTIVACIÓN PERSONAL

La elección del tema del presente TFG, nace de una motivación personal que cumple con dos funciones.

De un lado la redacción de este TFG permite poner en práctica los conocimientos que se le suponen a un estudiante de Grado en ingeniería química y permitir la obtención del título.

Por otra parte, me permiten a nivel personal indagar en profundidad en un tema que me interesa realmente, como es elaboración de cerveza artesanal, y abordarlo desde otro punto de vista.

En mis últimos años he tenido la posibilidad de estar en contacto con maestros cerveceros y asistir a jornadas de producción de cerveza. De aquí nace un proyecto personal que es la creación en un futuro de un brewpub en el que poder elaborar y vender mi propia cerveza.

Las circunstancias de haberme visto en la necesidad de adaptarme al título de grado me han permitido poder sacar partido de la situación y utilizar la redacción del TFG para satisfacer intereses personales que pueden serme de ayuda en un futuro.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. Definición de cerveza Artesanal

Dar una definición de lo que es cerveza artesanal resulta complicado. El problema es que, no existe ninguna autoridad competente que la defina como tal, ni un consenso explícito entre los productores de lo que viene a llamarse “cerveza artesana”.

Si nos fijamos en lo que Estados Unidos define como cerveza artesanal, ya que, es el país líder en producción de este tipo de cervezas. Clasifican las fábricas de cerveza según su volumen de producción. Para considerarse microcervecería (*microbrewery*) no deben superar un número limitado de barriles por año. Distinguiendo entre brewpub, microbrewery, regional brewery y large brewery.

La Brewer Association [7] determina que una cerveza artesanal sólo puede ser elaborada por una cervecería artesanal. Define a ésta como una fábrica de cerveza pequeña, con una producción anual de menos de seis millones de barriles, independiente y tradicional, matizando este término en que al menos la mitad de su producción debe estar compuesta por cervezas elaboradas sin usar extractos o adjuntos “artificiales”. Además podemos añadir que el salto entre microcervecería y “cervecería regional” está en los 15.000 barriles.

En España encontramos también algunas definiciones y normas para definir la cerveza artesanal. Por ejemplo, el “Gremi d’elaborados de Cervesa Artesana i Natural” de Cataluña [8] ha establecido las características que deben poseer una cerveza para considerarse artesana. Esto puede ser utilizado como referente de cómo ha de ser una cerveza artesanal. Así algunas de las premisas para que una cerveza sea artesanal son:

Respecto al proceso.

- El sistema de elaboración constará de 5 etapas básicas: Maceración, cocción, enfriamiento, fermentación y envasado.
- Para garantizar la calidad del producto, los lotes de producción de cerveza artesana tendrán un máximo de 7500 litros por caldera de cocción.
- No se admitirá el uso de calderas de gelatinización, con el objetivo de obtener fuentes extras de azúcares a partir de ingredientes como el maíz o el arroz y de abaratar costos.
- No se admitirá el uso de carbonatadores para gasificar la cerveza de forma artificial.

Respecto a los ingredientes.

- El proceso artesano debe ser un proceso “todo grano” que parta del grano malteado, o no.
- No se admitirá ningún tipo de extracto (ni de malta ni de lúpulos) para la obtención del mosto de la cerveza.
- No se admitirá el uso de aditivos como antioxidantes, conservantes, colorantes, estabilizantes, etc.
- En algunas variedades su composición puede incluir también otras materias primas naturales para aromatizarlas como azúcares, especias, frutas ...

Respecto al producto final.

- La cerveza artesana es una cerveza viva y por tanto con presencia de levadura viva (visible o no).
- La cerveza artesana es una cerveza sin pasteurizar y por tanto natural.

3.2. Situación actual de la cerveza artesanal en España

El sector de cervezas artesanas ha experimentado un fuerte desarrollo en los últimos años favorecido por la demanda de productos de calidad, naturales y elaborados con procesos de producción artesanales. El volumen de producción de este tipo de cervezas fue en 2016 de 145.000 hl, lo que representa un 71% más que en el año anterior, continuando con la tendencia mantenida en los años precedentes, según datos del Observatorio Sectorial DBK de INFORMA [9]. Lo que demuestra que la producción de cerveza artesanal aún tiene mucho recorrido.

En cuanto a datos económico. Los datos del DBK sitúan la facturación de este sector en 2016 en 45 Millones de €, frente a los 26 del 2015 y los 15 del 2014.

El número de cervecerías artesanales que a fecha de Abril de 2017 operaban en España es de 480. Otra fuentes como el Periódico el Mundo [10], nos dice que el número de microfábricas de cerveza ha creció cerca de un 1.600% entre 2008 y 2015. Siendo 21 el número de microcervecerías en el 2008.

Respecto a la distribución de estas cervecerías por comunidades. El mayor porcentaje se encuentra en Cataluña (20%) y le siguen Andalucía (15%), Castilla y León (10%) y Galicia y Comunidad Valenciana con un 8% cada una.

En la tabla 1 se pueden observar las cerveceras artesanales más importantes actualmente en España y sus producciones en litros.

La producción de cerveza artesanal representa menos del 1% de la cerveza producida en España. En el año 2016 se produjeron 36,5 millones de hl de cerveza, según datos de la asociación de cerveceros de España, de los cuales solo 145.000hL fueron de cerveza artesanal tal y como se ha mencionado anteriormente.

Si comparamos estos datos con los de Estados Unidos, donde la producción de cerveza artesanal representa el 21% del sector. Parece lógico pensar que la tendencia en España seguirá siendo al alza, que la industria de la cerveza artesanal no es una moda pasajera y que hay espacio para nuevos productores en el sector.

Principales elaboradores de cervezas artesanales en España

Empresa	Localidad	Ventas	Producción	Marcas
		2015 (M€)	2015 (litros)	
PREMIUM BEERS FROM SPAIN	Xátiva (V)	1,15	600.000	Socarrada, ER Boquerón, TORO
LA SAGRA BREW	Numancia de la Sagra (TO)	1,00	500.000	La Sagra, Burro de Sancho, Madri
BEBIDAS DE CALIDAD DE MADRID	Las Rozas (M)	1,50	270.000	La Virgen
CIA. CERVESERA DEL MONTSENY	Sant Miquel de Balenyá (B)	0,80	229.000	Montseny
LA SALVE BILBAO	Bilbao	n.d.	200.000	La Salve
CERVEZAS ARTESANALES DE CANTABRIA	Liérganes (CAN)	n.d.	200.000	Dougall's
CERVECERA ESTRELLA DEL NORTE	Villadangos del Páramo (LE)	0,98	186.000	Kadabra
DEST. Y CERVEZAS DE EXTREMADURA	Zarza de Granadilla (CA)	n.d.	150.000	Cerex
CERVESES LA GARDENIA	Tarragona	0,50 (*)	130.000 (*)	Rosita
CERVEZAS ARRIACA	Yunquera de Henares (GU)	0,40	130.000 (*)	Arriaca
MATEO & BERNABÉ	La Rioja	0,32	128.800	Mateo & Bernabé, Little Bichos
GLOBAL PREMIUM BRANDS	Madrid/Ibiza (IB)	n.d.	111.000	Isleña
CERVEZAS ORIGEN	Huércal de Almería (AL)	n.d.	95.000	Origen, S.XXI, Black IPA, Stout
NAPARBIER	Noáin (NA)	n.d.	n.d.	Napar Pils, St. Germanus, Lght Raven, etc.

(n.d.) No disponible. (*) Estimación.

Fuente: Alimarket Gran Consumo

Tabla 1 Principales elaboradores de cervezas artesanales en España [23]

4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

4.1. Ubicación

La planta objeto del presente proyecto estará situada en la provincia de Alicante, en el término municipal de Sant Joan d'Alacant, en la calle Tomas capelo nº30. La planta cuenta con una buena situación, con accesos rápido a la carretera Nacional N-332. En el PLANO 1 del apartado de planos se muestra la situación del local.

4.2. Distribución de la planta.

La planta estará situada en un solar de 400m², donde se ubicará la nave de 300m². Su fachada principal de 17 metros da directamente a la calle Tomas Capelo. En los PLANOS 2 y 3 del apartado de planos está representada la planta del local y la distribución de los equipos.

A continuación se describen cada una de las salas planificadas que comprenden el local habilitado para esta actividad.

Sala de recepción y almacenamiento de materias primas:

La sala de 35,41 m² cuenta con una puerta de 3 metros para la recepción de materias primas y la carga de producto acabado. En esta sala se almacenará la malta, levadura, lúpulo, así como, las botellas o insumos necesarios para la elaboración y embotellado de la cerveza. La sala cuenta con un frigorífico, báscula de pesado y estanterías.

Sala de elaboración:

La sala cuenta con 145,20 m². Es el lugar destinado para la elaboración del producto, donde estarán instalados la mayoría de los equipos. En la sala se encuentran:

- Molino de malta.
- Cuba de maceración/cocción.
- Cuba de filtrado.
- Cuba whirlpool.
- Intercambiador de placas.
- 2 Fermentadores.
- Filtro de carbón activo.
- Tanque de agua caliente.
- Tanque de agua fría.
- Generador de vapor.

Laboratorio:

La planta contará con un laboratorio de 12,15 m² para poder realizar los análisis de producto necesarios. Estará equipado con todo el instrumental necesario para esta actividad.

Sala de embotellado:

En la sala de embotellado de 12,3 m² estarán instalados los siguientes equipos:

- Embotelladora.
- Tapadora de botellas.
- Equipo de frío.

Almacén de producto acabado:

Sala de 29,35 m² donde se almacenará el producto terminado. Esta sala estará comunicada con la sala de embotellado y la de recepción de materias primas para facilitar el movimiento de mercancía.

Oficina de administración:

La planta contará con una oficina de 15,60 m², para las labores de administración que pueda generar dicha actividad.

Vestuario y aseo empleados:

La nave contará con un vestuario con ducha de 6,76 m² y un baño de 5,70 m² para uso de las personas que trabajen en la planta.

Sala de degustación y venta

La nave contará con una sala de degustación y venta directa al público 23,86 m². Este espacio además contará con baños separados por sexos para los clientes.

Patio

La nave contará además con un patio de 100 m², el equipo de frío que está situado fuera de la nave estará instalado en el patio.

4.3. Descripción de los tipos de cerveza elaborar

La cerveza se puede dividir en dos grandes familias. Estas vienen determinadas por la levadura y el tipo de fermentación que se produce, así se distinguen:

- **Cervezas Ale o de alta fermentación.** Este tipo de cerveza fermenta a temperaturas más altas 20°C.
- **Cervezas Lager o de baja fermentación.** Este tipo de cerveza fermenta a temperaturas más bajas, 10°C.

A pesar de que la planta que tiene objeto en el proyecto contará con el equipo para producir prácticamente cualquier tipo de cerveza, se decidirá inicialmente los dos tipos de cerveza que se elaboraran en la misma. El maestro cervecero podrá cambiar más adelante el tipo de cerveza a elaborar o incluso añadir un fermentador más para poder ampliar la gama de cervezas.

Se partirá inicialmente de dos tipos de cerveza de la familia ALE, su periodo de fermentación es menor y son más económicas de elaborar en términos energéticos.

4.3.1. Cerveza Pale Ale

Cerveza de origen inglés, donde hasta antes de la Revolución Industrial, la mayoría de las cervezas eran oscuras. Cuando se introdujo un estilo de cerveza más pálido, se le llamó pale ale. Aunque el término inglés pale ale signifique ale pálida, normalmente no son nada pálidas sino que tienen un color ámbar o bronce, se puede apreciar su aspecto en la ilustración 1. El término se utilizó originariamente como oposición a las “porter”, que eran marrón oscuro y negras, muy populares en esa época. El contenido alcohólico de este tipo de cerveza oscila entre un 4 y un 5,5%. Y su índice de amargor IBU entre 20-30 grados IBU.

En el apartado de cálculos se muestra la receta precisa para la elaboración de este tipo de cerveza, la receta ha sido tomada de la web [11] donde se pueden encontrar innumerables recetas.



Ilustración 1. Cerveza Pale Ale

4.3.2. Cerveza Brown Ale

Se elaborará también esta cerveza de origen inglés. Es una especialidad de los condados de Yorkshire y Durham en el nordeste de Inglaterra. Aparecieron en esta zona cuando empezó la moda en Gran Bretaña de las cervezas Pale Ale; en la zona centro de Inglaterra surgieron las pale ale y en esta zona las Brown ale.

El nombre viene de su color, ya que en inglés “Brown” significa color castaño o marrón. En general son fuertes, con buen sabor a malta y con un color tostado que va de un ámbar suave a castaño fuerte; son afrutadas y secas. A veces se les llama “mild” si son de barril, como a las pale ale se les llama “bitter” si se sirven así. En la ilustración 2 se puede apreciar el aspecto que presenta este tipo de cervezas. Su color es característico por el uso de maltas más tostadas como la tipo chocolate, su grado alcohólico oscila entre 4 -5,5% y su índice de amargor IBU 15-25.



Ilustración 2 Cerveza Brown ale

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y MATERIAS PRIMAS

La cerveza es la bebida que resulta de la fermentación del mosto procedente de malta de cebada por levaduras seleccionadas para tal fin, este mosto se cuece y aromatiza con lúpulo.

Se puede realizar una clasificación de la gran variedad de cervezas que podemos encontrar en el mercado en dos grupos básicos, las tipo “lager” o de fermentación baja y las tipo “Ale” o de fermentación alta tal y como hemos mencionado anteriormente. La diferencia entre ambos tipos de cerveza radica en la levadura utilizada, las temperaturas a las que fermenta el mosto y los tiempos de fermentación de cada uno de los tipos. Este proyecto ha sido ideado inicialmente tal y como se ha descrito en el punto anterior para la producción de cervezas tipo “Ale”, ya que sus tiempos de fermentación son menores y sus condiciones de temperatura más sencillos de alcanzar y por tanto más económicos.

5.1. Descripción de las materias primas

Los ingredientes básicos que forman parte de la elaboración de la cerveza son 4: malta, lúpulo, levadura y agua. Los productores artesanales más conservadores no aceptan ningún ingrediente más, sin embargo durante el proceso de cocción en ocasiones se utilizan algunos adjuntos bien de otros cereales o bien para dar aroma o un personalidad diferente a la cerveza.

5.1.1. Malta

La malta es el resultado de un proceso controlado sobre determinados cereales, como pueden ser la cebada, el trigo, el centeno o la avena. El cereal más común en la elaboración de la cerveza es la cebada. Tras un proceso de germinación del grano este se seca y se tuesta o maltea. La malta es la responsable de ceder el almidón, las enzimas y las proteínas necesarias para la elaboración del mosto, además de su cascara que nos servirá de lecho filtrante.

Las maltas se pueden clasificar según la temperatura a la que se realice el malteado en:

Maltas base – Pueden utilizarse incluso al 100% en una receta de cerveza, se maltean a temperaturas relativamente bajas, de manera que no se produce la destrucción de las enzimas, y tienen mayor capacidad de degradar el almidón en azúcares. Estas maltas son de color claro y dan este color a la cerveza.

Maltas tostadas - Son las que el proceso de malteado se realiza a temperaturas más elevadas que las maltas base, de modo que van perdiendo capacidad de degradar el almidón, hasta el punto de eliminar todas las enzimas en las variedades más oscuras.

No se pueden emplear en un 100% de la receta, lo habitual es un máximo del 20% de los tipos más claros y no más del 10% de los más oscuros o tostados. Su función es dar notas de sabor y color diferente a la cerveza.

Maltas caramelizadas – Estas maltas se elaboran con un proceso algo distinto, se obtienen unas maltas donde el azúcar ha cristalizado en el interior del grano, este tipo de maltas se utilizan principalmente para aportar cuerpo a la cerveza, así como color y dulzor, y contribuir a mejorar la espuma.

Los tipos de malta que se utilizarán en la producción de las cervezas planificadas inicialmente para la planta son:

Malta Pale: Su secado se realiza a temperaturas bajas que conserven las enzimas del grano. Será la malta base de las dos cervezas descritas anteriormente y es la base de la mayoría de cervezas de estilo Ale.

Malta Chocolate: Es una malta muy tostada, la utilizaremos en la variedad de cerveza Brown Ale aportará color, aroma y sabor a nuestra cerveza. Ofrece sabores tostados intensos y aparecen toques de café y cacao.

Malta Caramelo: Su nombre viene del sabor a caramelo que le otorga a la cerveza. Además, da mucho cuerpo a la cerveza, la utilizaremos en nuestra cerveza Pale Ale

Malta Cristal: Es una malta caramelizada de color cobrizo, aporta sabor a malta y cuerpo a la cerveza, tienen mayor contenido enzimático y por tanto da más flexibilidad en su uso, la utilizaremos para la elaboración de la cerveza Brown Ale.



Ilustración 3 Tipos de malta y coloración de la cerveza

5.1.2. Lúpulo

Actualmente no puede concebirse una cerveza artesanal sin la adición de lúpulo. Es una planta trepadora silvestre que posee unas características que dan a la cerveza su aroma, amargor y sabor tan característico. Además tiene propiedades antisépticas y sirve para proteger la cerveza y conservarla, impidiendo el desarrollo de microorganismos nocivos.

Los componentes principales del lúpulo que proporcionan las características a la cerveza son:

- **Resinas de lúpulo**, son los compuestos más importantes para el amargor de la cerveza. Comercialmente se caracterizan por su contenido en α -ácidos o humulona. Este es el factor más importante y determina en gran medida el valor de lúpulo. A partir de su porcentaje en α -ácidos se determina el amargor de la cerveza por el índice IBU. Como se verá más adelante en el apartado de cálculos.

- **Aceite de lúpulo**, Estos aceites contribuyen de forma considerable al sabor y al aroma de la cerveza, son muy volátiles es por ello que los lúpulos que se usan para obtener las propiedades de estos aceites se adicionan al final de la cocción.
- **Sustancias albuminoides**, favorecen la formación y retención de la espuma.
- **Taninos y polifenoles**, ayudan a la formación de precipitados en la cocción.

Las formas en las que podemos encontrar el lúpulo comercialmente son:

- **Conos o flores**: Es la forma más natural se compacta al vacío tras su recolección pero es la que más volumen ocupa.
- **Pellets**: Posiblemente es la forma más comercializada, permite una conservación muy efectiva de las sustancias del lúpulo, ocupa menos espacio con lo que a nivel logístico es preferible. Es el formato que se utilizará en la planta.
- **Extractos de lúpulo**: Es otra forma de comercializarlo donde los extractos de lúpulo vienen disueltos. Muchos cerveceros artesanales consideran que el uso de este tipo de extractos no es afín a la elaboración de cerveza artesanal.

Los tipos de lúpulos que se utilizan en la elaboración de las cervezas elegidas para la planta que se está diseñando serán:

Lúpulo Cascade: Se utilizará en pellets. En la elaboración de la cerveza Pale ale le otorgará su amargor. En el caso de la Brown Ale, será el responsable de su amargor, aroma y sabor.

- Origen: Estados Unidos.
- Descripción: Este lúpulo es muy popular en Estados Unidos. Tiene una fragancia y un amargor moderados. En el aroma se perciben notas especiadas, florales y a uvas, con notas cítricas.
- Estilos de cerveza: ALES
- Contenido en α -ácidos: 4 – 7.5%

Lúpulo East Kent Golding: Se usará en pellets, para otorgar el aroma y sabor de la cerveza Pale Ale.

- Origen: Inglaterra.
- Descripción: Lúpulo tradicional inglés que normalmente se usa para dar amargor a las cervezas británicas. Tiene un aroma floral, y un sabor terroso, especiado y ligeramente dulce.
- Estilos de cerveza: Para todo tipo de cervezas inglesas: Pale ale, Brown ale, Porter o Stouts.
- Contenido en α -ácidos: 4 – 5.5%



Ilustración 4 Formatos comerciales del lúpulo.

5.1.3. Levadura

La levadura es el elemento esencial para realizar cerveza, ya que gracias a ella los azúcares se convierten en alcohol. La levadura es un organismo unicelular que pertenece al reino de los hongos. Es la responsable de todas las fermentaciones conocidas: el vino, la cerveza, el sake, el pan y los quesos.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, en la elaboración de cerveza es el tipo de levadura usada la que determina las dos grandes familias dentro de las cervezas.

- **levadura ale:** Fermenta a temperatura más alta, sobre los 20°C, produce una fermentación más rápida y salvaje, dando sabores más afrutados y amargos.
- **levadura lager:** necesita una temperatura menor para fermentar, sobre los 10°C, produce una fermentación más suave y lenta, dando sabores más controlados, secos, claros y directos.

Dentro de cada una de las familias existen diferentes tipos de levadura. En la planta se trabajara con levadura del tipo ale, tal y como se ha descrito con anterioridad. La levadura será liofilizada y se disolverá en agua para rehidratarla.

Se utiliza Levadura Windsor, que vendrá en formato de paquetes de 500g. Se pueden consultar sus características en el ANEXO I.

5.1.4. Agua

El agua es sin duda uno de los componentes más importantes de la cerveza ya que está representa el 95% de su composición. Es el agua la que da el carácter a la cerveza. El sabor, el color, la calidad de su espuma y la transparencia de la cerveza, dependen en parte del agua utilizada en su elaboración, por lo que es muy importante conocer determinados parámetros físico-químicos del agua con la que va a elaborarse. Los minerales presentes en el agua afectan principalmente en el proceso de maceración del grano

Antiguamente los cerveceros dependían del agua de su ciudad para la elaboración de su cerveza. Así nacieron algunas de las cervezas más famosas del mundo de las cuales se dice que son inimitables por la composición del agua, como la famosa Guinness de Dublín. Sin embargo, hoy en día con el desarrollo de la tecnología, es posible conocer exactamente el perfil químico del agua de una determinada zona, y agregar las sales minerales necesarias para obtener el tipo de agua indicada para producir el estilo de cerveza que se desea.

En el libro “Brewing science and practice” [1] sus autores nos proporciona algunos de los valores de los iones disueltos en el agua que más influyen en la cerveza y los rangos óptimos para la elaboración de cerveza. Los valores se resumen en la tabla 2.

IONES	Valores (mg/l o ppm)
<i>Calcio (Ca²⁺)</i>	50-100 ppm.
<i>Magnesio (Mg²⁺)</i>	10-30 ppm.
<i>Carbonato(CO₃²⁻) y Bicarbonato (HCO₃⁻)</i>	50-150 ppm
<i>Sulfato (SO₄²⁻)</i>	0-70 ppm
<i>Sodio (Na⁺)</i>	>150 ppm
<i>Cloro (Cl⁻)</i>	>200 ppm

Tabla 2 Rangos óptimos de los iones presentes en el agua para la elaboración de cerveza

- **Calcio (Ca²⁺)**, Es imprescindible para la fermentación, pues es necesario para el correcto desarrollo de la actividad de las levaduras. Proporciona transparencia, sabor y estabilidad a la cerveza.
- **Magnesio (Mg²⁺)**, tiene un comportamiento similar al del calcio en agua, pero es menos eficaz.
- **Bicarbonato (HCO³⁻)**, los iones carbonato y bicarbonato juegan un papel esencial en la química del agua utilizada en la elaboración de cerveza. El carbonato (CO₃²⁻) aumenta el pH y neutraliza la acidez de la malta. El bicarbonato (HCO₃⁻) es la forma principal en aguas con pH inferior a 8.4.
- **Sulfato (SO₄²⁻)**, acentúa el amargor del lúpulo y hace que parezca más seco.
- **Sodio (Na⁺)**, en concentraciones bajas acentúa los sabores de la cerveza, potenciando la dulzura de la malta. Pero por encima de los 200 ppm proporciona un sabor salado poco adecuado.
- **Cloro (Cl⁻)**, el ion cloruro aporta sabor dulce a la cerveza y acentúa el resto de sabores. Sin embargo el cloro libre Cl₂ o la cloramina que las plantas de tratamiento agregan para inhibir cualquier crecimiento microbiano se han de eliminar pues matan también la levadura que usamos para la fermentación de la cerveza.

5.1.4.1. Agua utilizada en el proceso

El agua que se utilizará para la elaboración de la cerveza será de la red de distribución de Sant Joan d'Alacant, donde estará ubicada la microcervecería. El ANEXO II, muestra el análisis completo realizado por "Laboratorio de aguas municipales de Alicante" que se ocupa de los análisis de control de agua de la población, correspondiente a finales del mes de Junio. En la tabla 3 se resumen los valores de los iones de mayor interés mencionados anteriormente.

IONES	Valores (mg/l o ppm)
Calcio (Ca^{2+})	55,8 ppm
Magnesio (Mg^{2+})	22,2 ppm
Carbonato(CO_3^{2-}) y Bicarbonato (HCO_3^-)	125,9 ppm
Sulfato (SO_4^{2-})	68 ppm
Sodio (Na^+)	88,4 ppm
Cloro (Cl^-)	158,4 ppm

Tabla 3 Valores de los iones Aguas de Sant Joan d'Alacant

Como se puede observar todos los valores se encuentran en un rango óptimo para la elaboración de cerveza, lo cual permite utilizar este agua para la elaboración de la cerveza. En caso de que alguno de los valores estuviese fuera de rango, siempre es posible alcanzar los valores óptimos. En la tabla 4 se muestra como modificar cada uno de los iones mediante la adición de determinadas sales.

En 1 g de:	Aumento de Ion (ppm) en 20 litros de agua					
	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Sulfato (SO4)	Cloruro (Cl)	Bicarbonato (HCO3)
Sulfato de Calcio (CaSO4)	11.73			28.01		
Cloruro de Sodio (NaCl)			19.68		30.28	
Sulfato de Magnesio (MgSO4)		4.92		19.49		
Cloruro de Calcio (CaCl)	13.63				24.04	
Bicarbonato de Sodio (NaHCO3)			13.63			35.77
Carbonato de Calcio (CaCO3)	20.06					29.90

Tabla 4 Modificación de la concentración de los iones mediante la adición de sales.

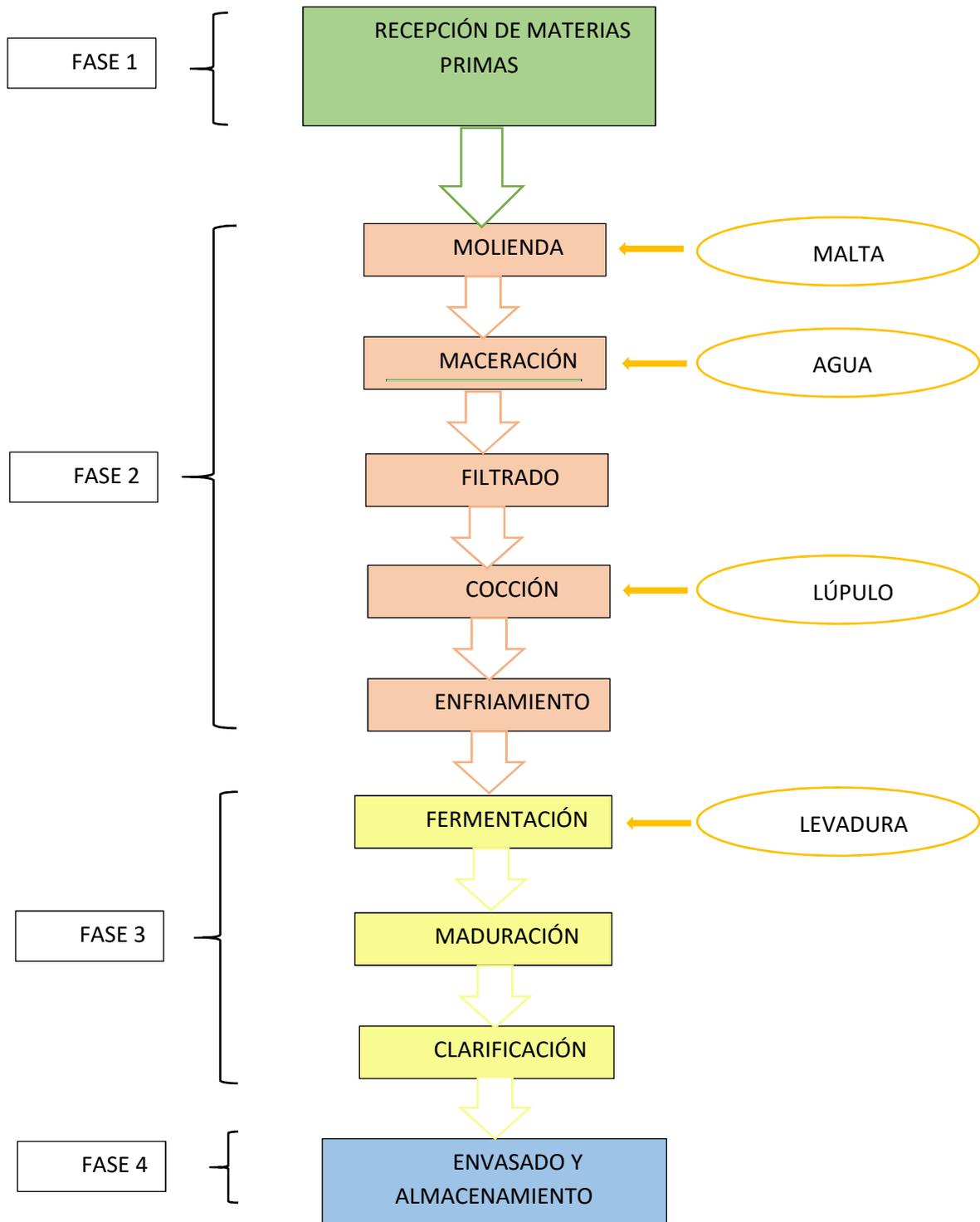
El cloro residual libre en el análisis es de 1,01 está por encima del valor permitido por el real decreto RD 140/2003 que lo sitúa en 1. Por ello se tratará el agua de la red con carbón activo. Se hará pasar a través de una columna para eliminar todo el cloro presente y así prevenir que pueda afectar a la cerveza y en particular a la levadura.

Por lo que respecta al pH. El agua utilizada tiene un pH de 8,1. Sin embargo, no es tan importante el pH del agua utilizada como el pH que se alcanzará en la maceración donde se ha de trabajar en un rango de 5,1 – 5,5. La adición de $CaSO_4$ hará descender el pH pero cuando se esté realizando la maceración si fuese necesario se añadirá ácido fosfórico (H_3PO_4) para alcanzar los niveles de pH óptimos.

5.2. Descripción del proceso

El proceso para la elaboración de la cerveza lo podemos ver resumido en el siguiente diagrama, donde también se refleja en qué etapa se adiciona cada uno de los ingredientes descritos en el apartado anterior

El proceso consta de las diferentes etapas que aparecen, además podemos diferenciar 4 fases.



5.2.1. Recepción de materias primas

La recepción de materia prima se realizará por la zona de recepción de la planta.

- La malta se recibirá en sacos de 25 kg y se almacenará apilada.
- Levadura los paquetes son de 500g se almacenará en frigorífico y cerrada para conservar sus propiedades.
- Lúpulo se comprará en paquetes de 1kg se almacenará en frío para conservar sus propiedades.

Se evitará acumular materia prima, gestionándola con una buena planificación para asegurarse de que estos conserven el 100% de sus propiedades.

5.2.2. Molturado o molienda.

Podemos considerar esta etapa como la primera en el proceso de fabricación de la cerveza. Si bien la primera etapa podría ser el malteado, cuando se habla de producción a partir de malta o elaboración de un lote (batch) este sería el primer paso. Esta etapa es de vital importancia, de ella depende la eficiencia en la extracción de los azúcares presentes en el interior del grano y será de igual importancia para la etapa de filtración.

El proceso, por tanto, consiste en reducir el interior del grano o endospermo a partículas más pequeñas y tratar de mantener la cáscara del grano intacta. Cuanto más pequeño sea el tamaño de partícula en la molturación del grano, más se favorecerá la acción enzimática encargada de transformar el almidón y mayor será la eficiencia a la hora de extraer los azúcares de la malta. Esto puede llevar a pensar que lo más conveniente sería convertir el grano en harina, pero, para el caso de la elaboración de cerveza artesanal esto es desaconsejado. La presencia excesiva de harina haría difícil, si no imposible, la separación del mosto y generaría problemas de turbidez en el producto final. Así mismo, la presencia excesiva de grano grueso bajaría el rendimiento de modo considerable.

En el ámbito de las microcervecías se considera aceptable un tamaño de partícula de grano en torno a 1,15mm, algo que dista mucho de las cervecerías industriales, donde se alcanzan tamaños de entre 0,15-0,6 debido a sus sistemas adicionales de filtrado del mosto.

Es muy importante también a la hora de realizar el molturado lograr que la cascara quede lo más intacta posible. Por varios motivos; en primer lugar es la que se encarga de mantener la correcta circulación del mosto en la etapa de macerado y nos actuará de lecho filtrante natural a la hora de separar el mosto del grano o bagazo. Por otra parte, si la cascara se rompe demasiado, se disolverán en el mosto otras sustancias no deseadas (taninos y polifenoles) que afectarán tanto al sabor como al aspecto final de la cerveza.

Podemos por tanto decir, que, para una correcta molienda, existe una relación equilibrada entre la extracción de los azúcares y la fluidez del drenaje. Una proporción bastante acertada y que se debe perseguir en el proceso de elaboración de nuestras cervezas será:

- Cáscara – 30%
- Grano grueso -10-20%
- Grano fino – 20-30%
- Harina – 20-30 %

Podemos resumir los objetivos de la molienda en:

- Rasgar la cascara dejándola lo más intacta posible para separar el endospermo.
- No dejar granos sin moler.
- Homogeneizar lo mejor posible el tamaño del endospermo.
- Minimizar la cantidad de harina para evitar la formación de una pasta dentro del mosto.

A la hora de planificar la molienda se han de tener en cuenta varios factores.

- Porcentaje de humedad en la malta
- Tamaño parejo de los granos
- En caso de usar adjuntos en la mezcla, considerar que proporción de estos se utilizarán y regular el tamaño de grano según la cantidad de adjuntos.

Se muestran a continuación los diferentes tipos de molienda que existen según el grado de humedad de la malta:

Molienda seca – Es el método más tradicional de molienda en el que se usa el grano seco, con un bajo contenido de humedad (2,5 -4%). Los granos han de estar bien separados y han de ser de un tamaño uniforme. A pesar de que en este método la cáscara es más quebradiza, es el método más económico donde la malta no requiere un acondicionamiento previo y además permite tomar muestras y regular el tamaño de grano en función del molturado que vayamos obteniendo. Para esta planta se utilizará este método con un molino de rodillos que se describe más adelante.

Molienda seca acondicionada por vapor y Molienda húmeda – En este caso la malta se acondiciona aumentando su contenido de humedad. Esto puede hacerse haciéndola pasar a través de vapor de agua, agua caliente o directamente en remojo. Estos métodos dan más flexibilidad a la cáscara pero también resultan más caros y requieren de mayor maquinaria para su realización.

5.2.2.1. Acciones en la planta durante la etapa:

Se iniciará con:

- Pesado de la malta en la báscula para la correcta proporción del grano.
- Se pasará por el molino eléctrico todo el grano molturándolo al tamaño de entre 1 y 1,15 mm.

Este proceso tendrá una duración de entre 60 – 75 minutos, dadas las características del molino escogido que tiene una capacidad de unos 200kg/h.

5.2.3. Maceración

En esta etapa el objetivo es la transformación de todo el almidón contenido en el grano en maltosa (o azúcares). En esta etapa se obtiene el llamado mosto de la cerveza, donde se disuelven los azúcares presentes en el grano, molido en la etapa anterior, en agua caliente o liquor. Estos azúcares son los que se necesitan para la fermentación y los que posteriormente se transformarán en CO₂ y alcohol. Durante esta etapa las diferentes enzimas presentes en la malta serán las encargadas de realizar dicha transformación.

Las variables fundamentales en esta etapa y sobre las que se presta mayor atención son: la relación grano/agua, la temperatura, el tiempo y el pH. Estas variables determinarán en gran medida el carácter que tendrá la cerveza. Aspectos como sabor, olor, cuerpo y espuma, empezarán a tomar forma en esta etapa, es por ello, que requiere de gran cuidado a la hora de realizarla.

Las enzimas son las que llevan el peso de esta etapa, son proteínas complejas que sirven a manera de catalizadores, induciendo reacciones entre sustancias. Las enzimas son activadas o desactivadas bajo ciertas condiciones y la manipulación de estas condiciones componen el proceso de macerado.

A continuación se muestra la tabla 5 donde aparecen reflejadas las principales enzimas presentes, sus rangos óptimos de temperatura y pH y cómo influye cada una de ellas en la elaboración del mosto. Es importante comprender que las enzimas funcionan desde temperaturas por debajo y por encima del rango descrito, y que su destrucción toma tiempo, por lo que es posible activar varias enzimas en diferentes puntos de temperatura.

Enzima	Tª óptima	PH óptimo	Función
Fitasa	30 – 52°C	4.4 – 5.5	Baja el PH del Mosto. Actualmente no es utilizado.
Beta Glucanasa	36 – 45°C	4.5 – 5.0	Reduce la viscosidad del mosto, y mejora la clarificación.
Peptidasa	46 – 57°C	4.6 – 5.2	Produce Amino Nitrógeno Libre (FAN), que es esencial para la levadura y la fermentación.
Proteasa	46 – 57°C	4.6 – 5.2	Rompe proteínas grandes y reduce la turbiedad.
β-Amilasa	54 – 65°C	5.0 – 5.6	Produce azúcares cortos, altamente fermentables.
α-Amilasa	68 – 75°C	5.3 – 5.8	Produce azúcares de larga cadena, poco fermentables, que agregan cuerpo a la cerveza.

Tabla 5 Encimas presentes en la elaboración de la cerveza

Si observamos la tabla vemos que son las enzimas α-amilasa y β-amilasa las responsables de la producción de los azúcares fermentables por la conversión del almidón.

En granos como los de la cebada, el almidón constituye entre el 63% y el 65% del peso seco, la conversión de estos polisacáridos en azúcares más simples es el aspecto más importante de la maceración y como ya hemos dicho, para ello es necesaria la acción de enzimas, fundamentalmente las amilasas α y β y en menor grado la dextrinasa límite.

Para la β -amilasa el rango de temperaturas óptima está entre 54°C y 65°C inactivándose a 70°C, mientras que el pH está entre 5.0 y 5.4.

La α -amilasa reduce rápidamente la viscosidad del empaste logrando lo que se conoce como "licuefacción" del mosto. Las condiciones óptimas para su trabajo son: un pH óptimo dentro del rango 5.2 - 5.5, y una temperatura entre los 67°C y los 75°C, desactivándose rápidamente sobre los 80°C.

En cuanto a las dextrinas límite se dice que aumenta el porcentaje de azúcares fermentables. Estas dextrinas no aportan dulzor a la cerveza pero sí contribuyen a dar sensación de cuerpo en la misma. Esta enzima trabaja bien a temperaturas similares a la de β -amilasa (entre 60-62.5°C) desactivándose por sobre los 65°C. Necesita además un pH óptimo de entre 5.4 y 5.5.

A no ser que se busque un mosto muy fermentable, las dextrinas residuales son en realidad deseadas por contribuir positivamente al carácter de la cerveza.

5.2.3.1. Factores que Afectan las Condiciones de Maceración

Tal y como hemos comentado estos son los factores que afectarán directamente a la maceración y que por tanto se controlarán durante la producción de las diferentes cervezas.

Densidad del Empaste o relación agua/grano:

Como regla estándar, que se encuentra en numerosa bibliografía, como en el libro de Wolfgang Kunze "Tecnología para Cerveceros y Malteros" [2] se puede decir que la relación agua/grano será de 3 a 1 en peso, aunque esto dependerá mucho de la cerveza que se pretenda elaborar.

Una relación agua-grano menor a 2,1 L/Kg producirá empastes de una densidad excesiva que dificulta el mezclado y el filtrado. Además la falta de agua en la mezcla inhibe la acción de las enzimas debido a que éstas necesitan de un medio líquido para poder realizar su trabajo.

Temperatura

La temperatura influye en la cantidad de extracto producido o rendimiento. Dentro del rango de temperaturas normales con las que se trabaja durante la maceración, con temperaturas inferiores a (62-63°C) se produce mayor producción de maltosa, lo que llevará a producir una cerveza más alcohólica y con menos cuerpo. Si se trabaja con temperaturas más altas (72-75°C), el contenido del mosto resultante será rico en dextrinas el contenido en alcohol será menor aunque la cerveza tendrá más cuerpo. Si se trabaja a temperaturas inestables durante la maceración, se producen mostos con un alto contenido en dextrinas.

Tiempo

La duración de la maceración la determina el maestro cervecero y viene determinada por la suma de los tiempos en los que quiera trabajar en cada etapa en el caso de la infusión escalonada.

La máxima actividad enzimática se obtiene entre los 10-20 min. y pasados 40-60 min. esta actividad decrece rápidamente. A grandes rasgos se puede decir que maceraciones prolongadas aumentan la producción de extracto en el mosto y si estas maceraciones se realizan a las temperaturas más bajas (62 a 63 °C) habrá mayor fermentabilidad.

El pH

Como se ha observado, la actividad de las enzimas depende en gran medida del valor pH. Macerando en un rango de pH de 5.2 a 5.5 se favorece el trabajo de las amilasas y se incrementa la producción de extracto, con más azúcares fermentables y un mayor grado alcohólico. Por ello, se ha de tener un estricto control del pH que se podrá modificar tratando el agua con ácido fosfórico para bajar el nivel del pH.

En la siguiente grafica se pueden observar cuales son las temperaturas y rangos de pH óptimos para cada una de las enzimas. Queda claro que trabajar en un rango de pH entre 5.2 y 5.5 es el más óptimo para hacer trabajar a las enzimas amilasas.

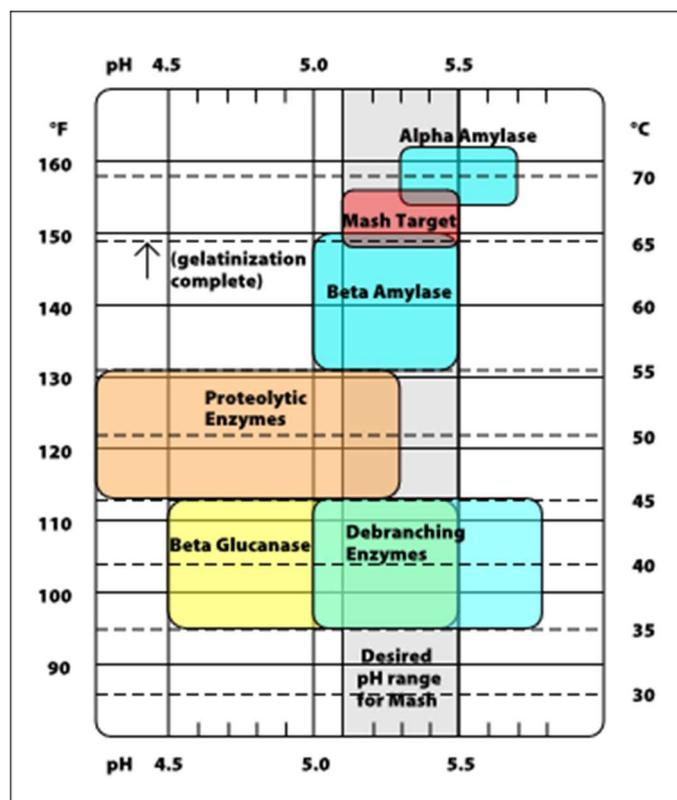


Ilustración 5 Rango Óptimo de PH y Tª para las enzimas

Temperaturas en la Maceración

En la siguiente tabla se muestran las diferentes estaciones que se pueden encontrar en un proceso de infusión escalonada, la única etapa fundamental es la que se realiza la sacarificación y por ello la infusión simple en ocasiones es suficiente. Podemos también observar en la gráfica el proceso de infusión escalonada.

Durante la maceración la mezcla de agua y grano se calienta a diferentes temperaturas para que se puedan realizar los cambios químicos y enzimáticos necesarios para producir el mosto. Como ya se ha visto, para cada enzima hay un rango de temperatura en el cual éstas se desenvuelven mejor, pero esto no significa que esa enzima deje de actuar automáticamente fuera de su rango óptimo, sino que a menores o mayores temperaturas será menos eficaz.

Temp. (C)	Escalón	Efecto
35-45	Empaste	Los granos partidos absorben bien el agua y distribuye mejor las enzimas a través del empaste. A estas temperaturas también se produce una cierta acidificación, cambiando potencialmente el pH del empaste. Esta etapa no suele realizarse ya que requiere de un largo tiempo y existen métodos más rápidos para la reducción del PH
30-52 (35)	Descanso Ácido	Raramente necesitado por los cerveceros artesanos, este descanso activa la enzima Fitasa bajando lentamente el pH del empaste. Para obtener un resultado apreciable es preciso sostener este escalón un tiempo muy prolongado, ocurre lo mismo que en el paso anterior.
40 a 50	Descanso de Beta-glucanos	Rompe los β -glucanos en los cereales sin maltear o en copos y en las maltas poco modificadas. Sin un descanso a estas temperaturas, los β -glucanos darán lugar empastes excesivamente viscosos.
45-55	Descanso de Proteínas	Se activan la proteasas y las peptidasas rompiendo las proteínas grandes e insolubles transformándolas en compuestos más pequeños y solubles. Estas temperaturas también darán lugar a una cierta actividad ácida.
	SACARIFICACIÓN	Este es el único descanso necesario en la maceración. Aquí las amilasas y la dextrinasas límite degradan el almidón produciendo azúcares y dextrinas.
60-63	Enzima: Dextrinasa Limite	Función: Degrada los almidones grandes en almidones más pequeños accesibles a la amilasa alfa
67-75	α -amilasa	Rompe las cadenas de almidón produciendo azúcares, que pueden o no ser fermentables.
60-65	β -amilasa	Transforma los azúcares complejos en azúcares fermentables más simples
77+	Mashout	A estas temperaturas se reduce la viscosidad del empaste haciendo más fácil la separación del mosto. Además comienza la desactivación y desnaturalización de las enzimas.

Tabla 6 Estaciones en un proceso de infusión escalonada y cómo afecta a cada una de las encimas

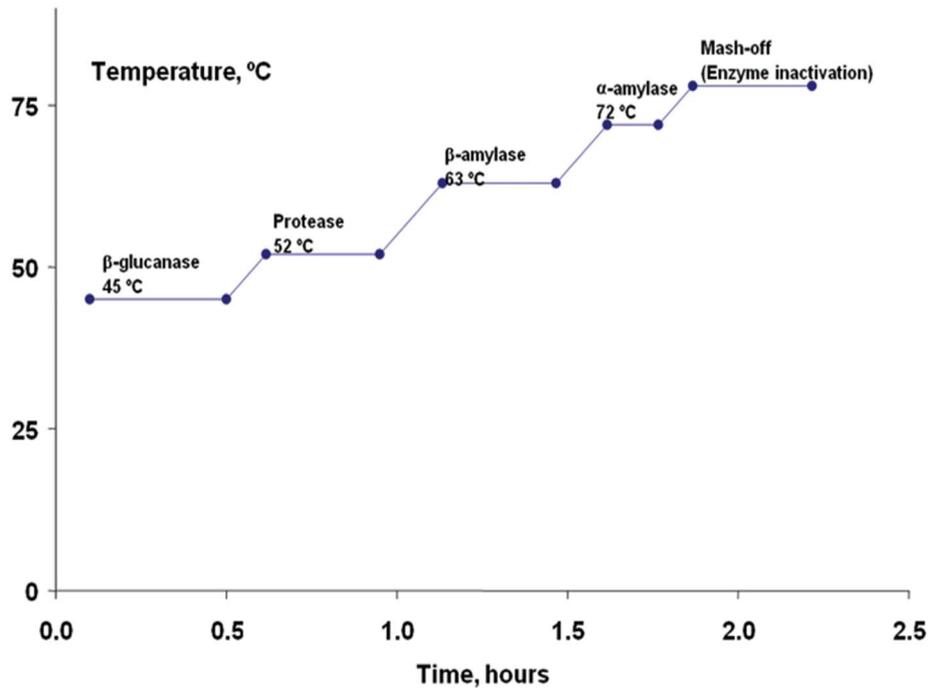


Ilustración 6 Proceso de infusión escalonada

5.2.3.2. Tipos de maceración

Maceración por infusión simple:

El mosto se macera a una temperatura única. En este tipo de maceración se pierde algo de eficiencia ya que no todos los azúcares se disuelven de la manera correcta ni se aprovecha todo el potencial de las enzimas. Solo se produce la etapa de sacarificación y hace que la cerveza pueda perder muchos matices. Es el más utilizado por los productores de cerveza casera e incluso en algunas cervecerías artesanales para la producción de algunos tipos de cerveza, la cerveza Brown ale se realiza con este tipo de macerado.

Con este método se calienta el agua a unos 70-75 °C, se produce el empastado o la adición de la malta a la cerveza de manera que alcanzará unos 64-68 °C (temperatura de trabajo óptimo de las enzimas amilasas). Se ha de asegurar un correcto agitado, lento pero que mantenga en movimiento el mosto para asegurar que se mezcle correctamente. Se mantiene a esta temperatura el tiempo necesario para diluir todos los azúcares, el tiempo puede variar de 1 a 2 horas en función del tipo de cerveza a elaborar.

Realizando la prueba del yodo descrita más adelante se sabe cuándo ha terminado la etapa.

Maceración por infusión escalonada

En este método lo que se realiza es un progresivo calentamiento del mosto y estacionamiento a diferentes temperaturas y un determinado tiempo, de manera que se favorecerá la acción de cada uno de los tipos de enzimas que participan en el proceso. Tal y como se ha descrito anteriormente.

El número de escalones que se realice y el tiempo, dependen de la cerveza que quiera elaborar el maestro cervecero, en muchas ocasiones se saltan escalones que no son de interés. Es muy común iniciar a una temperatura entorno a los 50°C en la fase de los β -glucanos.

Este es el método que se utilizará en la microcervecería, para la elaboración de la variedad Pale ale. La cuba de maceración se calentará mediante un sistema de vapor que nos permitirá el control de la misma.

Decocción

Este método consiste en extraer parte del macerado del recipiente y hacerlo hervir, devolviéndolo de nuevo al reactor de macerado para subir la temperatura del mosto. A pesar de ser un método con grandes ventajas, donde la cocción parcial del mosto ayuda a disolver las sustancias contenidas en la malta facilitando el trabajo a las enzimas y conseguir así una buena degradación del almidón, se descarta para el diseño de esta planta debido a que requiere un mayor consumo de energía y dos recipientes de maceración de manera que también el equipo requerido es superior y por tanto tiene un coste superior.

5.2.3.3. Prueba del yodo.

Una vez finalizada la maceración hay que procurar que no quede nada de almidón ni cantidades elevadas de dextrina. Puede utilizarse la prueba del yodo para determinar la presencia de restos de almidón en el macerado y evitar así el enturbiamiento posterior. La prueba del yodo se basa en que éste tiñe de azul cualquier líquido que contenga almidón. Sin embargo, cuanto más se degrada el almidón, menos intensa es la coloración; en este caso, el yodo colorea el macerado avanzando primero de tono marrón rojizo, luego a amarillo rojizo y por último de amarillo.

Para realizar la prueba del yodo, se toman unas gotas del macerado al final de esta operación y se depositan sobre una superficie blanca, tras un breve enfriamiento, se añaden unas gotas de yodo y de acuerdo a la coloración obtenida, se prolonga la fase de estacionamiento o se da por concluida la maceración.

5.2.3.4 Acciones en la planta durante la etapa:

Previamente a esta etapa y de manera simultánea a la maceración se acondicionará el agua:

- Pasar agua por el filtro de carbón activo.
- Llevar el agua a la temperatura deseada para la maceración.
 - 40/45°C iniciales en el caso de la cerveza Pale Ale.
 - 68°C en el caso de la Brown Ale.

Para iniciar la maceración:

- Se añadirá la malta molida al agua caliente en la cuba de maceración.
- Durante la maceración se irán tomando muestras y analizando el pH con un pH-metro digital.
- Se realizarán las correcciones necesarias de pH mediante la adición de ácido fosfórico.
- Cerca del tiempo de maceración se realizará la prueba del yodo.
- Una vez finalizada la maceración se medirá la densidad del mosto con un refractómetro.

La duración de esta etapa será de:

- 75 minutos para Pale Ale.
- 90 minutos para Brown Ale.

5.2.4. Filtrado – lavado del bagazo

Una vez finalizado el proceso de maceración, se realiza el proceso de filtrado y lavado. El mosto se encuentra lleno de partículas sólidas y es en este paso, donde se eliminan dichos sólidos para obtener el mosto propiamente dicho, para ello se filtra la mezcla. Se realiza en la cuba de filtrado, donde se trasiega la mezcla. Esta cuba posee una base o rejilla que ayudará al proceso de filtrado.

A medida que se empieza a hacer pasar el mosto a través de la rejilla, la cascara de la malta y el resto de elementos sólidos comienzan a crear un lecho de filtrado. Se inicia con lo que se conoce como filtración del primer mosto. Inicialmente, algunas partículas pueden haber pasado el filtro, con el fin de eliminarlas, se recircula a una velocidad lenta hasta que se observa que el mosto inicial empieza a salir claro y se puede comenzar a pasar a la cuba de cocción.

Una vez realizada esta primera fase y antes de terminar de filtrar todo el mosto, se añade agua a temperatura de unos 78°C y con un pH adecuado; con el fin de recuperar todos los extractos o azúcares atrapados en el filtro de cascara. Esta es la fase conocida como lavado del bagazo o sparging. La importancia de mantener un nivel de líquido adecuado es para evitar que el agua percole por las paredes o el filtro de cascara pueda ceder.

La concentración de azúcares es mucho menor en este segundo mosto, la densidad del mosto por tanto descenderá ligeramente, es muy importante medir la densidad final del mosto antes de iniciar la cocción. El agua que se añadirá puede ser de hasta la misma cantidad de mosto primario o superior. Se da por finalizada esta fase cuando la concentración del mosto comienza a disminuir, indicativo de que los azúcares del bagazo han sido extraídos.

5.2.4.1. Acciones en la planta durante la etapa:

- Se producirá el trasiego de la cuba de macerado a la cuba de filtrado.
- Se recirculará el mosto a una velocidad lenta, para que comience a formarse el lecho de filtrado y comenzar a aclarar el mosto.
- Simultáneamente se producirá la limpieza de la cuba de macerado que pasará a ser la cuba de cocción.
- Una vez limpia la cuba de cocción y que a través de la mirilla de la cuba de filtrado se vea el mosto claro, comenzará a realizarse el trasiego.
- Antes de finalizar el trasiego comenzará el lavado del bagazo añadiendo el agua necesaria previamente calentada a 78°C.
- Se realizará el lavado cuando se obtenga el volumen del mosto planificado habrá concluido la etapa de filtrado.
- Se medirá la densidad del mosto enfriando la muestra.
- Una vez vacío el tanque de filtrado se vaciará el bagazo, este puede ser utilizado para alimentar ganado.

Duración de la etapa:

45 minutos – 60 minutos

5.2.5. Cocción

Una vez retirado la parte del bagazo del mosto, se realiza la etapa de cocción donde se lleva a ebullición el mosto y se añaden los lúpulos. El proceso consiste en hacer hervir el mosto durante 60-120 minutos. Conlleva una alta demanda energética siendo la parte del proceso que más energía consume durante la elaboración de la cerveza. En esta fase se persiguen los siguientes objetivos:

- La esterilización del mosto: Las materias primas utilizadas durante la elaboración de la cerveza pueden contener bacterias y otros microorganismos. Estos serán eliminados al llevar el mosto a temperatura de ebullición, que, combinado con un pH bajo asegurará la eliminación de todas estas bacterias. A partir de este punto se tendrá que llevar extremo cuidado ya que no se podrá volver a esterilizar el mosto.

- La eliminación de compuestos volátiles indeseados: En el mosto se encuentran sustancias aromáticas con una volatilidad variable que no resultan agradables, si son percibidas en el aroma de la cerveza. Principalmente el dimetil sulfuro (DMS), cuyo aroma asemeja al maíz hervido. Gracias a la etapa de cocción, se llevará al mosto a niveles reducidos de dicho compuesto.

- La inactivación enzimática: La mayor parte de la acción de las enzimas cesa durante la recolección del mosto, bien por la fase de mash out o por el lavado del bagazo a alta temperatura. No obstante, durante la cocción se detendrá por completo la actividad enzimática remanente. En este punto quedará determinada la cantidad de carbohidratos del mosto. Las dextrinas que no han sido transformadas a azúcares no podrán ser fermentadas posteriormente por las levaduras.

- La desnaturalización y floculación de las proteínas: Durante la cocción las diversas sustancias albuminoideas, además de las enzimas que vienen disueltas en el mosto, comenzarán a formar coágulos y algunas a precipitar al fondo del tanque por su propio peso. Durante una cocción prolongada se produce una amplia precipitación de estos compuestos, pero, raramente se realiza por la cantidad de consumo energético que tiene esta fase.

Las proteínas y taninos son los principales componentes de los turbios calientes o hot trub. Estas impurezas se observan al inicio formando una espuma marrón y posteriormente formando cúmulos mayores, un pH bajo favorece la formación de estos coágulos de mayor tamaño con lo que facilita su retirada posteriormente.

Existen opiniones encontradas entre maestros cerveceros en las que se plantean si hay que eliminarlos o no antes de la fermentación. Algunos aseguran que eliminándolos se obtienen sabores más limpios y otros creen que, estos coágulos favorecen a la nutrición de las levaduras.

A pesar de la cocción prolongada, algunos compuestos de alto peso molecular precipitan durante el enfriado del mosto, lo que se conoce como turbios fríos o cold trub. Dichos precipitados serán separados tras la fase de fermentación

- La isomerización de los ácidos del lúpulo. Es la reacción más importante que tiene lugar durante la cocción, los alfa-ácidos presentes en el lúpulo se disuelven y son los responsables del sabor amargo de la cerveza, de entre ellos el más importante es la humulona.

- La definición sabor, aroma y amargor que tendrá la cerveza. Las características de la cerveza se definen en esta fase gracias a la adición del lúpulo. El momento de añadir el lúpulo es fundamental dependiendo del matiz que se desee trabajar.

Para conseguir extraer el amargor al lúpulo la cerveza alcanzará el 100% de la extracción aproximadamente una hora después de iniciada la cocción. Es por esto que, el lúpulo para el amargor se añade al inicio de la cocción.

Los aceites esenciales que contiene el lúpulo son los responsables del aroma, estos aceites son muy volátiles y se evaporan con rapidez, por ello este lúpulo se añade al final de la cocción 10 minutos o incluso menos antes de acabar.

Para el caso del sabor, el lúpulo se añade unos 20 minutos antes de terminar ya que este es el tiempo que necesita el lúpulo para liberarlo por completo. Además es en esta etapa donde algunos cerveceros añaden otros componentes a la cerveza para dotarlos de otros sabores y aromas.

En la siguiente gráfica se puede observar los tiempos necesarios en función de la característica que deseemos obtener y cuando alcanzará su pico máximo cada una de ellas [12].

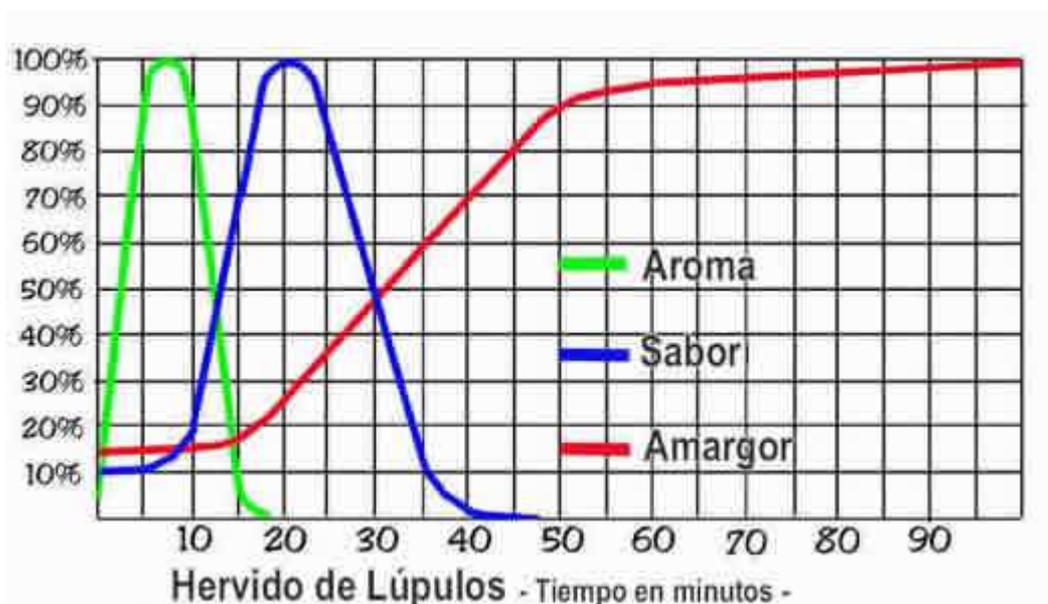


Ilustración 7 Tiempo de cocción para extraer los diferentes matices del lúpulo.

- La concentración del mosto: Durante esta fase se evapora hasta un 10% del agua presente en la olla, lo que hará que la concentración del mosto aumente, es importante medir la densidad del mosto final en frío para poder calcular la graduación alcohólica que alcanzará la cerveza.

Una vez realizada la cocción se enfriará el mosto y se pasará al fermentador. En algunos casos como hemos mencionado anteriormente se separan los precipitados o hot trub antes de enfriar, para ello, un método muy utilizado es el método whirlpool. Es un proceso muy sencillo que consiste en remover el mosto de forma circular para crear un remolino, justo después de la cocción. Este remolino provocará que las partículas y los sólidos del mosto se acumulen en el centro de la cuba, favoreciendo así la obtención de un mosto mucho más limpio, que se extraerá por el lateral de la cuba. Los sistemas de elaboración de las cervecerías profesionales suelen poseer una cuba de whirlpool especializada en esta práctica, en el caso de la planta también se contará con este sistema de eliminación del hot trub.

5.2.5.1. Acciones en la planta durante la etapa:

- Se llevará el mosto a temperatura de ebullición 100°C.
- Se añadirán al inicio de la cocción el lúpulo previamente pesado del amargor.
- Se añadirán en los tiempos marcados en la receta los diferentes lúpulos previamente medidos.
- Una vez concluida la cocción se pasará todo el mosto a la cuba whirlpool.
- Se realizará el centrifugado, para posteriormente empezar a enfriar el mosto.

Duración de la etapa 75 – 90 minutos.

5.2.6. Enfriado

Tras realizar la clarificación en la cuba whirlpool se ha de enfriar el mosto rápidamente, ya que de pasar demasiado tiempo durante su enfriado el mosto es susceptible de ser colonizado por otro tipo de microorganismos no deseados.

Se bajará por tanto la temperatura del mosto para ser posteriormente inoculada con la levadura. En el caso de las Ale como las que realizaremos en nuestra planta la temperatura que ha de alcanzar el mosto es de 16-20°C, para el caso de las lager en torno a los 10-15°C.

Para el enfriamiento se utiliza un intercambiador de placas, en el que se hará pasar agua de la red a previamente enfriada a 10°C en el caso de ser necesario y llevará el mosto a unos 20°C aproximadamente. El agua que saldrá a una temperatura de unos 87°C se recogerá en el tanque de agua caliente para posteriores procesos de limpieza y desinfección de equipos. En ocasiones se realiza un segundo enfriamiento con agua glicolada previamente enfriada a una temperatura de 0°C que llevará el mosto a la temperatura óptima de fermentación.

Una vez el mosto se encuentra a temperatura de fermentación es importante airearlo. Esto se realiza a través de un difusor de acero inoxidable, que se instala a la salida del intercambiador de placas. El aire ha de entrar en contacto con el mosto en pequeñas burbujas, por ello se requiere un difusor. Esta oxigenación favorecerá el proceso de fermentación ayudando a las levaduras que requieren de oxígeno para su activación. Los valores de oxigenación deben estar comprendidos entre 8-10 mg/l de oxígeno disuelto.

5.2.6.1. Acciones en la planta durante la etapa:

- Se pasará el mosto por el intercambiador de calor a un caudal de 1m³/h del otro lado del intercambiador se pasara el agua fría con caudal 1m³/h.
- El agua caliente a unos 87°C se recogerá en el depósito de agua caliente para posteriores procesos de limpieza.
- El enfriador escogido aireará el mosto a la salida del intercambiador para alcanzar los niveles deseados de concentración.

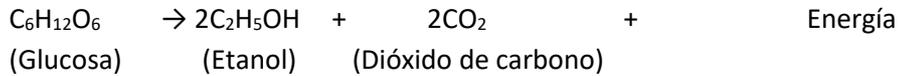
Duración de la etapa 60 – 75 minutos

5.2.7. Fermentación.

En esta etapa se produce la transformación de la cerveza propiamente dicha. Es la etapa que se ha definido como inicio de la fase 3 en el diagrama anterior.

Durante la fermentación los azúcares presentes en el mosto se transformarán en alcohol, gracias a la acción de la levadura que se ha elegido e inoculado a la mezcla. La levadura puede ser liofilizada, y por tanto ha de hidratarse primero o líquida la cual es preferible ya que es de mayor calidad. Las tasas de inoculación son de 1,5 a 2,5 gramos de levadura prensada por litro de producto.

Inicialmente la levadura se activará y reproducirá gracias al oxígeno que se ha introducido durante la etapa anterior. Posteriormente la levadura comenzará una respiración anaeróbica o fermentación. Donde se producirá de manera simplificada la transformación siguiente.



Las reacciones de fermentación se pueden dividir entre fermentación principal y reacción de maduración (se explica más adelante). Las reacciones en realidad se solapan entre sí.

La reacción de fermentación alcohólica es la más importante que ocurre durante esta etapa. Además son metabolizados otros compuestos del mosto, que posteriormente, en la etapa de maduración pueden ser parcialmente metabolizados. Todos los productos que resultan de la fermentación influirán de manera decisiva en las características finales que adquirirá el producto.

Es fundamental que la fermentación sea rápida y potente y que se encuentre a la temperatura adecuada. En el caso de que la fermentación tardase en arrancar se correría el riesgo de que el mosto se contaminase con otros microorganismos.

Tal y como se ha comentado la temperatura es un factor clave que ha de ser controlado en todo momento. Temperaturas elevadas favorecen el inicio de la fermentación pero pueden producir aromas no deseados. La temperatura inicial del mosto tal y como se ha mencionado anteriormente será de unos 8-15°C para las LAGER y unos 16-24°C para las ALE. Esta temperatura irá aumentando y se ha de mantener controlada gracias a la refrigeración del fermentador.

La primera fermentación finalizará por tanto de los 3 a 7 días en el caso de las cervezas Ale y de 1 a 3 semanas en el caso de las Lagers. Este mayor tiempo es debido a que la levadura trabaja a temperaturas menores y por tanto es más lenta. Llegados a este punto, se bajará la temperatura del fermentador a unos 5-10°C, con el objetivo de hacer flocular la levadura y que se deposite en el fondo del fermentador. En este punto iniciará la fase de maduración. Si los tiempos fuesen mayores la cerveza podría tomar sabores a levadura difíciles de eliminar.

5.2.7.1. Acciones en la planta durante la etapa:

- Se inoculará el mosto con la cantidad de levadura prevista en el apartado de cálculos.
- Pasado el tiempo de fermentación primaria se realizará el descenso de temperatura del fermentador para comenzar la fase de maduración.
- Se realizará la primera purga de levadura del fondo del tanque.

Duración de la etapa 3 a 7 días

5.2.8. Maduración

Cuando se eliminan los sedimentos de levadura decantada, que se encuentran en el fondo del fermentador, se puede decir que inicia la etapa de maduración. Esta etapa también se le conoce como segunda fermentación. Los objetivos que se persiguen son la carbonatación, desarrollo del sabor y clarificación de la cerveza.

La carbonatación es el proceso de disolución del dióxido de carbono (CO₂) en la cerveza. En esta etapa fermentarán el 1% de los azúcares fermentables aún presentes en el mosto. Esto producirá la carbonatación de la cerveza, consiguiendo los niveles deseados de CO₂. Es importante regular la válvula de escape de presión para que el CO₂ que se produzca quede disuelto en la cerveza. La presión en el interior del tanque cerrado herméticamente será de entre 1 y 2 bar.

En cuanto al desarrollo del sabor, durante este proceso evolucionan los sabores deseados y se reducen aquellos indeseables que corresponden a la cerveza verde (la procedente de la primera destilación). Algunos de los compuestos que influyen en el sabor de la cerveza son:

- Diacetilo -- tiene un cierto sabor similar a mantequilla, es un elemento indeseado en las cervezas ligeras pero buscado en algunas "Ale".
- Sulfuro de hidrógeno, H₂S – tiene olor a huevo podrido, y lo elimina el CO₂ al desprenderse.
- Acetaldehído – Este compuesto se forma principalmente durante la fermentación principal y disminuye durante la maduración. La levadura lo reduce a alcohol durante la maduración. Es el precursor normal del etanol. Es el compuesto responsable de sabores "verdes" de la cerveza, como a hierba o sidra.

La clarificación es la eliminación de la levadura y las moléculas que causan turbidez. Durante el proceso de maduración se retirarán los precipitados de la parte inferior del fermentador, esto hará que la cerveza quede clara y sin turbidez.

El proceso de maduración será de 2 a 3 semanas para el caso de las ALE y de 3 a 5 semanas para el caso de las LAGER.

5.2.8.1. Acciones en la planta durante la etapa:

- La maduración se lleva a cabo en el mismo fermentador.
- Se purgará cada 5-6 la cerveza para ir eliminando precipitados.

Duración de la etapa 2-3 semanas

5.2.9. Clarificación

Esta etapa puede formar parte de la maduración como se ha visto en el apartado anterior, donde simplemente retiramos los sedimentos del fondo del fermentador que precipitan con facilidad por las bajas temperaturas, esto se conoce como la clarificación por sedimentación por gravedad.

En algunos casos se utilizan otras técnicas para clarificar como pueden ser:

- Añadir agentes de sedimentación o fining, donde se trasiega la cerveza una semana antes a finalizar su maduración a un tanque clarificador y se le añaden estos elementos que aceleran la tasa de precipitación y eliminan los turbios de la cerveza.

- Centrifugación, a través de la centrifugación en un tanque se aceleran los tiempos necesarios para la clarificación por precipitación.

En todos los casos donde se produce el trasiego de la cerveza se han de realizar purgas de CO₂ de los tanques receptores para evitar la adición de oxígeno a la cerveza.

En el caso de esta planta no se recurrirá ni a la clarificación por agentes de sedimentación, ni a la centrifuga. Toda la clarificación se producirá en los fermentadores.

5.2.10. Envasado

El último paso una vez elaborada la cerveza es el envasado o almacenamiento, en nuestro caso se embotellará la cerveza en formatos de 33 cl.

EL envasado es importante realizarlo de manera que las propiedades de la cerveza se mantengan durante el tiempo. Para ello se debe procurar que la cerveza no pierda su contenido en CO₂ y no sea poblada por otros microorganismos que puedan degradarla.

Por ello se esterilizan las botellas a altas temperaturas y se llenan con llenadoras a contrapresión. Estas llenadoras inyectan CO₂ en el interior de las botellas de manera que eliminan el O₂ contenido, una vez solo contienen CO₂ si comienzan a llenar con cerveza. La cerveza llegará desde el fermentador con mayor presión de la que se tiene en el interior de las botellas. Durante este proceso es posible que la cerveza pierda algo de CO₂, por ello es conveniente que la cerveza tenga disuelto algo más del necesario.

Inmediatamente después del llenado de las botellas se realizará su taponado con una tapa o chapa de corona, de manera que se evite la pérdida de CO₂, la intrusión de oxígeno o el riesgo de bacterias o microorganismos.

5.2.10.1. Acciones en la planta durante la etapa:

El ciclo que seguirá la llenadora escogida será:

- Enjuagar el fermentador con agua helada para bajar la temperatura en el tanque para reducir la espuma.
- Enjuagar con CO₂ para eliminar el aire del tanque y, por lo tanto, eliminar el consumo de oxígeno del producto
- Colocar las botellas en la posición de llenado
- El operador enciende la bomba de vacío y la mantiene durante el tiempo necesario para lograr el vacío (un manómetro indicará el vacío alcanzado)
- La máquina llena la botella de CO₂.
- Se produce el llenado de las botellas que la máquina para automáticamente cuando llega al nivel
- Las botellas se retiran manualmente.
- Se pone el tapón/chapa a la botella

Duración de la etapa: 300 minutos

5.2.11. Limpieza y desinfección

Si bien la limpieza no es una etapa propiamente dicha del proceso de fabricación de cerveza, es de vital importancia que se realice correctamente para obtener resultados óptimos.

El mosto es una excelente fuente de nutrientes que favorecerá el crecimiento de muchos organismos, además de la levadura, y dadas las condiciones propicias, cualquier microorganismo que pueda entrar en el mosto comenzará a crecer y producir subproductos metabólicos que conducirán a una variedad de sabores y aromas que no se asocian normalmente con la cerveza. Por esto, sólo realizando, a conciencia, técnicas de limpieza y desinfección adecuadas se puede reducir al máximo los riesgos, eliminando la mayor cantidad de posibles fuentes de contaminación.

Se ha de procurar que la planta tenga siempre buena ventilación y que los tanques y tuberías estén siempre secos sin agua estancada ni residuos de otro tipo. Los tanques que se hayan limpiado han de estar con todas sus puertas (boca hombre) y válvulas abiertas para que el agua restante se seque.

5.2.11.1. Proceso de limpieza

La forma de realizar la limpieza de los equipos puede ser manual, pero el tiempo y el esfuerzo que conllevan es excesivo y no se asegura una total desinfección.

La eliminación del bagazo de la cuba de filtrado sí que se realiza manualmente, se eliminará todo el bagazo que posteriormente puede ser utilizado para alimentar animales como cerdos, gallinas o vacas. El resto de la limpieza se produce de manera automática.

Actualmente la mayoría de plantas de cerveza utilizan el sistema CIP por sus siglas en inglés “Cleaning In Place”, se emplea para limpiar todos los depósitos y tuberías mediante un ciclo que consiste en:

- Preenjuagado con agua,
- Circulación con un agente de limpieza (NaOH)
- Enjuagado intermedio
- Desinfección (ácido periacético, $C_2H_4O_3$)
- Enjuagado final con agua.

Todos los sistema de la planta se limpian sin tener que desmontar la instalación mediante sistemas Cleaning in Place (Sistemas CIP). Todos los depósitos en la planta objeto del presente proyecto tienen esfera CIP de limpieza

Para iniciar la limpieza se pasará agua a través de todo el equipo, a ser posible en dirección contraria al flujo normal para facilitar la eliminación de algunos restos sólidos. Se prestará especial atención al intercambiador de calor, uno de los puntos del sistema más susceptible de ser contaminado.

Posteriormente se pasará una disolución de sosa cáustica (NaOH) al 2% a una temperatura de 80°C, durante un tiempo mínimo de 30 minutos (tiempo óptimo 60 minutos) y recirculando a alta presión. Se utilizará el agua recogida en el depósito de agua caliente tras el enfriamiento de la cerveza.

Una vez hecha la limpieza con la solución de sosa lo ideal es aclarar recirculando agua limpia y luego volver a realizar el mismo proceso con una solución de ácido peracético a 60 o a 80°C. El ácido servirá para anular cualquier resto de sosa que haya quedado en el circuito o en los tanques. Finalmente se realizará un aclarado final de todos los equipos.

El equipo de cocción que se instalará en la planta que se está diseñando cuenta con sistema función CIP, además es posible utilizar el mismo sistema para el resto de elementos que no forman parte de la sala de cocción con lo que toda la limpieza se realizará por medio de este equipo.

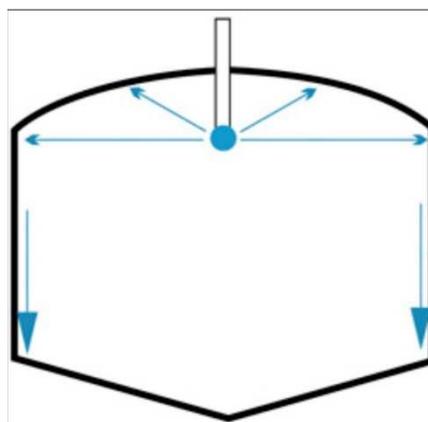


Ilustración 8 Sistema CIP bola CIP en un tanque

Acciones en la planta:

- Se eliminará el bagazo del tanque de filtrado.
- Se enjuagarán las rejillas del tanque de filtrado, ya que son desmontables para eliminar todos los restos sólidos.
- Se activará el sistema CIP central.

Duración de la etapa: 60-75 minutos.

5.2.11. Cronograma del proceso

A continuación se muestran el tiempo necesario de cada etapa, de lo que se deduce que el tiempo total de producción de un lote de cerveza puede variar de 2 semanas a 1 mes.

ETAPA	TIEMPO
Molturado	60-75 minutos
Maceración	75-90 minutos
Filtrado	45-60 minutos
Cocción y Whirpool	75-90 minutos
Enfriado	60-75 minutos
Limpieza	60-75 minutos
Fermentación	3-7 días
Maduración	2-3 semanas
Envasado	300 minutos
Etiquetado	120 minutos
Tiempo hasta fermentación, incluyendo limpieza	375 – 465 minutos

Tabla 7 Tiempo etapas de producción de cerveza

Un dato interesante a tener en cuenta es el tiempo que se emplea en la producción del mosto hasta la etapa de fermentación, serán todos los procesos que se realizan en la misma jornada incluyendo la limpieza. Los procesos de fermentación, maduración, envasado y etiquetado se realizan en jornadas posteriores. Así pues las jornadas de preparación del mosto pueden variar entre 6:15 horas y 7:45 horas, dependiendo del tipo de cerveza a elaborar.

6. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO SELECCIONADO

6.1. Molino de Malta:

El modelo escogido es el Molino de Malta **Maltman® 150**, permitirá molturar la cantidad de malta que utilizamos para producciones de 1000 litros entre 1 - 1:30 h.



Ilustración 9 Molino de malta

Molino de malta eléctrico con un rendimiento de **150 a 200 kg/h**, de diseño expreso para la moltura de malta y otros cereales.

Características:

- Pintura apta para alimentación color Blanco RAL 9001,
- Rodillos de acero templado,
- Sistema de ajuste variable y rápido de la separación entre rodillos 0 – 2,6 mm.,
- Escala para la determinación de la abertura de paso,
- Motor eléctrico 1,5 kW (230V),
- Interruptor de seguridad y panel indicativo del esfuerzo del motor.
- Amperímetro para el ajuste óptimo de la entrada.
- Dimensiones (*Altura x Ancho x Largo*): 580 x 400 x 330 mm
- Peso total 72 kg
- Capacidad de tolva de 12,5 kg,
- Panel posterior para posible montaje en pared

6.2. Equipo de macerado, filtrado y cocción:

El equipo que utilizaremos será el sistema Breworx Tritank 1000. Una máquina industrial compacta que incluye todo el equipo necesario para producir 1180 litros de mosto de cerveza (para la producción de aproximadamente 1000 litros de cerveza), donde tendremos un conjunto de 3 tanques para macerar/cocer, filtrar y método whirlpool. Conectados a una plataforma común de servicio.

Se ha escogido esta máquina ya que se ajusta perfectamente a las necesidades de la planta. Observando en el apartado de cálculos el volumen de mosto que se genera es de 1105 L. en el caso de la cerveza Pale Ale



Ilustración 10 Equipo de macerado, cocción y filtrado

6.2.1. Características generales:

El equipo cuenta con:

- Cuba de maceración y cocción
- Cuba de filtrado
- Cuba con sistema Whirlpool
- Fregadero
- Plataforma de servicio.
- Panel de control para control automático (CA)
- Conexiones de tuberías y cables
- Control de válvulas mecánico y automático.
- Armario eléctrico.
- Función CIP, Garantiza la limpieza, desinfección y esterilización de la cervecería, tubos de mosto y opcionalmente también otros dispositivos en la cervecería

Se pueden consultar los planos en el ANEXO III:

Dimensiones y peso:

- Peso - 1.883 kg

- Altura - 2750 mm
- Tamaño de la habitación altura mínima 3100 mm
- Ancho 3.900 mm
- Profundidad 3.900 mm
- Este equipo de ebullición está montado en un bastidor rígido de 1.4301 (AISI 304), con 8 soportes ajustables en su parte inferior.
- Los tanques también están realizados en acero AISI 304

Conexiones:

- Descarga de mosto de cerveza DN 25
- Abastecimiento de agua fría DN 25
- Suministro de agua caliente DN 25
- Línea de drenaje DN 50
- Electro 5x2,5mm² 6000 W

Tuberías:

- Línea principal DN 50, 5x válvula DN 50
- Línea de drenaje DN 50, 3 válvulas DN 50
- Línea sanitaria DN 32, válvula 4x DN 32
- Suministro de agua y líneas adicionales DN 32, válvula 5x DN 32
- Filtro de mosto de cerveza 2000l/ h DN 80
- Bomba de extracción y fermentación DWO 150 Ebara
 - Potencia de entrada 1,5 kW
 - H máx. 2,2 bar

Instalación eléctrica:

- Interruptor principal 3x 25A con pulsador central
- Motor de arranque 3x 2,5-4A
- 1x Convertidor de frecuencia Fronic mini 1.5 kW
- 2x convertidor de frecuencia Fronic mini 0,75 kW
- Regulador digital de la temperatura del hervidor de mosto Dixel XR20D
- Regulador digital de la temperatura de salida del mosto de cerveza Dixel XR20D
- Interruptor automático 6A 230V
- Interruptor automático 10A 230V
- Interruptor automático 4A 230V
- Tablero DIN de plástico, 36 módulos
- Cableado
 - 5 x 1,5mm² - 18 m
 - 5 x 2,5 mm² - 10 m
 - 3 x 1 mm² - 48 m

6.2.2. Características cuba de maceración y cocción



Ilustración 11 Cuba maceración/cocción

- Volumen efectivo 1 990 L
- Dimensiones \varnothing 1 300 mm, altura 1 500 mm
- Superficie inferior para el vapor 1,13 m²
- Superficie de revestimiento para vapor 0.56 m²
- Válvula de vapor ASCO jucomatik DN 20
- Descarga de condensado de vapor DN 20
- Agitador de cuatro brazos, potencia de salida 355 Nm, potencia de entrada 1,1 kW
- Iluminación de 12V 35W
- 2x sistema giratorio sanitario DN 20
- Vaporizador DN 100, 3x dispositivo de pulverización
- Aislamiento 50 mm lana de roca,
- Varilla de medición con certificación Directiva 71/316 / CEE

6.2.3. Características cuba de filtrado



Ilustración 12 Interior cuba de filtrado

- Volumen efectivo 1 368 litros
- Dimensiones \varnothing 1 320 mm, altura 1200 mm
- Filtro de 6 segmentos con 12% de permeabilidad
- Boquillas para el enjuague
- Agitador 2 brazos, 8 cuchillas
- Caja de cambios 500 Nm, potencia de entrada 2 200 W

- Iluminación 12V 35W
- Indicador mecánico de temperatura 0-120°C en acero inoxidable
- 2x sistema giratorio sanitario DN 20
- Válvula de ajuste de tres vías con visor DN 50
- Compuerta de descarga de grano 420x540 mm
- Equipo para descarga automática de granos
- Aislamiento 50 mm lana de roca
- Revestimiento exterior acero inoxidable 1 mm
- Cubierta superior en acero inoxidable

6.2.4. Características cuba Whirpool



Ilustración 13 Cuba Whirpool

- Capacidad utilizable 1 356 litros
- Dimensiones \varnothing 1 200 mm, altura 1200 mm
- Orificio sanitario 430 x 340 mm
- 2x Ducha giratoria sanitaria DN 20
- Boquilla tangencial DN 20
- Indicador de nivel DN 20
- Válvula de fermentación 2x DN 25
- Aislamiento 50 mm de lana de roca,
- Revestimiento exterior acero inoxidable 1 mm

6.3. Equipo de intercambiador de placas/aireador:

En los cálculos realizados para el cálculo de intercambiador de placas, se ha obtenido la superficie mínima necesaria y los datos de temperatura. Sin embargo a la hora de seleccionar un intercambiador comercial, se ha escogido un intercambiador que permite también bajar la temperatura de la cerveza a temperaturas menores con agua helada. Posee además un sistema de oxigenación incorporado. Cumple con las prestaciones necesarias para producir en un futuro cervezas lager de baja fermentación.

Block wort cooler-aeration system con rendimiento de 1000 litros/hora.

Intercambiador de placas de dos etapas destinado a enfriar el mosto de 98 °C a 7 °C utilizando 10 °C y 1 °C de agua antes de iniciar el proceso de fermentación de la cerveza. El enfriador del mosto se une a un panel de acero inoxidable. Dispone de sensores y elementos de control del enfriador.

Características:

- Número de cámaras de enfriamiento: 44
- Tuberías DN 40
- válvula de aireación
- Manómetro 0-4 bar
- Nanofiltración de aire
- Termómetro 4x Dixell XT11S
- 6x sumideros para termómetro
- Mecha de aireación de la válvula neumática DN 10
- Válvula neumática de agua fría DN 25
- La válvula de control de flujo agua fría DN 25
- Contacto para arrancar la bomba de agua helada
- Terminal de control remoto

Dimensiones:

- A - 1200 mm
- B - 400 mm
- C - 280 mm
- Peso 115 kg

Conexiones:

- Entrada de mosto DN 40
- Salida de mosto DN 40
- Entrada de agua fría 3/4 "
- Salida de agua fría 1 "
- Entrada de agua helada 1 "
- Salida de agua helada 1 "

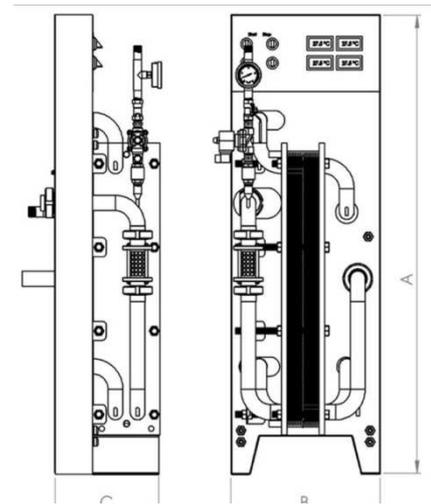


Ilustración 14 Intercambiador de placas

6.4. Fermentador/madurador:

Tal y como se ha calculado, se instalarán 2 fermentadores cilíndrico-cónicos, de volumen efectivo 1000 litros.

El tanque comercial escogido es el **CCT-1000C Cylindrical-conical tank Classic insulated 1000/1200L de Czech brewery system**, se pueden consultar sus planos medidas completas en el ANEXO IV. Las medidas se aproximan con bastante precisión a las medidas calculadas.

Características:

- Volumen total - 1200 litros
- Volumen efectivo- 1000 litros
- Dimensiones exteriores -1300x1300x2586mm
- Peso - 280kg
- Material – Acero AISI 304
- Aislamiento – PUR 50 mm
- Carcasa doble de acero inoxidable
- Rango de presión - 0,0 - 3,0 bar
- Rango de presión de ensayo - 0,0 - 4,4 bar
- Certificado PED 97/23 / CE
- Ángulo del cono - 60 °
- Boca hombre superior 420x340mm abertura interior
- Boca hombre lateral 440x310mm
- Presión Válvula de seguridad de vacío - Max. 3,2 / 0,2 bar
- Válvula de Producto inferior E / S - DN32 DC / TC
- Drenaje inferior E/S conexión - DN32 DC / TC
- Válvula de muestra DN10 sanit
- Conexiones de conexión CIP y manómetro DN25DC / TC
- Válvula de ventilación
- Ducha estática de saneamiento sprayball
- Válvula de alivio de presión sanitaria DN32 DC / TC
- Indicador de nivel de llenado fijo
- Temperatura mínima de funcionamiento -15 ° C
- Temperatura máxima de funcionamiento +80 ° C



Ilustración 15 Fermentador

6.5. Embotelladora:

La embotelladora escogida será BFSA2-200 Semi-automatic bottle filler.

Características:

- Levanta botellas neumáticamente
- Piezas de contacto de acero inoxidable 304
- Protectores de protección transparentes para garantizar la máxima seguridad para el operador en caso de rotura de botellas.
- La boquilla de llenado especial para reducir la formación de espuma
- 4 ruedas, para hacer la máquina movable.
- Parámetros:
- Salida 150-200 l/h dependiendo de la temperatura de llenado y del operador
- Especificaciones de la botella: Diámetro máximo 120mm - Altura máxima 350mm
- Conexión de alimentación: Monofásica 230V / 50Hz
- Consumo de energía 0.37 kW
- Consumo de aire 6 bares - 120ltr por minuto
- Dimensiones: 0,4m x 0,67m x 1,92 (h) m
- Peso: 95kg



Ilustración 16 Embotelladora

6.6. Otros equipos necesarios

6.6.1. Filtro de carbón activo

Se instalará un filtro de carbón activo para la absorción de olor, color y sabor, así como para la eliminación de cloro libre o contaminantes orgánicos y sintéticos presentes en el agua.

Los declaradores están calculados para la eliminación de cloro libre con un tiempo de contacto de 2,5 minutos.

Equipo formado por una columna construida en poliéster reforzado con fibra de vidrio, válvula multivia automática y carga de carbón activo.

- Presión de trabajo mínima: 2 Bar.
- Presión máxima recomendable: 6 Bar
- Caudal de trabajo: 1,1 m³/h.
- Conexiones de 1"
- Carga de Carbón Activo: 37 kg.
- Caudal a 15 m³/h/m²: 1,0 m³/h.



Ilustración 17
Filtro carbón activo

6.6.2. Tanque agua caliente

La planta contará con un equipo de agua caliente, es necesario tener suficiente agua potable disponible durante el proceso de elaboración de la cerveza.

El depósito de agua caliente **HWT-1000** está equipado con una unidad de bombeo. Está diseñado para el almacenamiento de 1000 litros de agua bien precalentada o recogida de la fase de intercambio de calor, se precalentara mediante sistema de vapor.

Características:

- Material AISI 316
- Capacidad total 1100 l
- Diámetro con aislamiento 1000 mm
- Peso 135 kg
- Potencia de entrada del elemento calefactor 3500W
- Potencia de entrada de la unidad de bombeo 360W
- Altura total 1 800 mm
- Orificio oval 340 * 420 mm
- Tubería entrada y salida DN 25
- Tubería de baja presión DN 25
- Tubería de desbordamiento DN 25
- Válvula flotante DN 25
- Bomba para agua 95 ° C 360 W, 230 V, 50 Hz, Hmax 35
- Presostato de la bomba



*Ilustración 18
tanque de agua caliente*

Cuadro eléctrico:

- Interruptor principal 380V 25A
- Interruptor automático del calentador 380V 16A
- Interruptor de calefacción 380V 16A
- Regulador digital -15 - 135 ° C Dixel XR20D
- Sonda NTC
- Interruptor automático del regulador 230V 4A
- Motor de arranque 230V 1,5kw

6.6.3. Tanque de agua fría:

Escogeremos un tanque de agua frío o helada para mantener agua a esta temperatura que se utilizará para el intercambiador de calor y para controlar la temperatura de los fermentadores. El modelo será **ICWT-1000 Ice cooling water tank 1000 litros de Czech brewery system**. Contará con 2 bombas de circulación.

Características

- Capacidad total 1058 l
- Capacidad útil 1000 l
- Longitud -1250 mm
- Ancho 850 mm
- Alto 1250 mm
- Peso 280 kg
- Material AISI 304
- Aislamiento de poliuretano 50 mm
- Cubierta de chapa de AISI 304 de 1 mm de espesor
- Rama de entrada de agua 2x DN 25
- Rama de salida de agua 2x DN 32
- Caja de sonda NTC Ø 10 mm.
- Temperatura de funcionamiento 85 a -15 ° C

Accesorios

- Armaduras de descarga y de llenado DN 25
- 2x derivación de entrada de agua DN 25
- 2x derivación de salida de agua DN 32
- Caja de sonda NTC
- Sonda NTC
- 2xBombas de circulación Wilo Yonos PICO 25 / 1-6 230V 180mm
- Filtro de latón de suciedad gruesa
- Cuadro eléctrico
- Interruptor principal 380V 16A
- Regulador digital DIXEL XR20 D 230V 50 HZ
- Contactos Compresor 3x230V 50 Hz 10A
- Contacto de Arranque motor 2x 4-6A 380V



Ilustración 19 Tanque agua fría

6.6.4. Generador de vapor:

La planta contará con el generador de vapor caliente necesario para calentar el mosto en el macerado, para la etapa de cocción, calentar agua en el depósito de agua caliente y para la limpieza de los equipos. El modelo escogido es el **ESG-60MWT** eléctrico.

Características:

- Potencia de 20 kW - 60 kg de vapor caliente por hora
- Presión de trabajo y temperatura de vapor máx. 6 bar / 155 ° C
- Planta de tratamiento de agua con regeneración automática
- Tanque de condensado de acero inoxidable
- Bomba de alta temperatura
- Nivel de intensidad acústica <70 dB (A)
- Cuerpo de la caldera en acero inoxidable AISI 304
- Capacidad de la caldera 57 L
- Calentador de la caldera 20 kW
- Todos los componentes en contacto con agua en acero inoxidable AISI 304
- Alimentación 400V - 3ph - 50 Hz
- Dimensiones netas 800 x 800 x 600 mm.
- Peso neto 135 Kg



Ilustración 20 Generador de vapor

6.6.5. Equipo de frío

La unidad refrigerador-condensador con intercambiador de calor de placa **GCU-25 – Glycol cooling unit 4.5 kW**. Está destinada al enfriamiento del agua en el tanque de agua helada. El agua helada se utiliza posteriormente para enfriar el mosto así como los tanques de fermentación.

Características:

- Dimensiones exteriores - condensador (LxAxP) 1200x1200x960 mm
- Dimensiones exteriores - intercambiador de calor (LxAxP) 89x461x75 mm
- Peso - condensador: 67 kg
- Peso - intercambiador de calor: 5,4 kg
- Refrigerante: R404A - 3.5 litros
- Medio de enfriamiento: Solución acuosa de 40% de monopropilenglicol
- Temperatura del glicol: -4 ° C
- Tensión nominal 3 / N / PE AC 400 / 230V 50 Hz
- Tensión directa 2 / PE DC 24V
- Potencia instalada 2.3 kW / 50 Hz
- Corriente nominal del interruptor 24 A / C
- Ruido 70 dB (a una distancia de 1 m de la unidad)
- Capacidad de refrigeración 30/4 ° C - 4500 W 610%
- Capacidad de refrigeración 10K - 470 litros por hora
- Min. Temperatura del agua de salida -5 ° C

- Max. Temperatura del agua de entrada +10 ° C
- Min. Paso de agua 30 l / min
- Max. Presión de entrada de agua 1,0 MPa.



6.6.6. Tapadora de botellas

- Equipos seleccionado **CRW-M1 Manual bottle crowner**
- Funcionamiento neumático, con compresor
- Estructura en acero inoxidable AISI 304
- Cabezal intercambiable (diám. 26 y 29mm)
- Posicionamiento manual de las tapas y botellas
- Producción: 300/400 bph (dependiendo de la habilidad del operador).
- Dimensiones: cm. 30x20x72h
- Peso: 14 kg
- Altura de la botella: 200-420mm



Ilustración 22 Tapadora de botellas

6.6.7. Etiquetadora

La planta contará con una Etiquetadora semiautomática con sensor on/off

- Capacidad entre 500 y 900 botellas/hora (una etiqueta)
- Posibilidad de aplicar etiqueta frontal y posterior en un solo rollo de etiquetas
- Dimensiones: 580 mm (460 mm) x 560 mm (440 mm) x 460 mm (altura)
- Borde inferior del rollo de etiquetas a una altura de 25 mm
- Altura de las etiquetas hasta 190 mm
- Diámetro de las botellas de 55 a 115 mm
- Potencia 0,2 kW
- Alimentación eléctrica 230V 50/60Hz
- Peso 45 kg
- Nivel de ruido: Lpa < 55 db
- Envases rígidos de forma cilíndrica
- Envases cónicos con conicidad menor a 1



Ilustración 23 Etiquetadora

6.6.8. Bombas:

Se requerirá de una bomba adicional además de las que algunos equipos llevan incorporadas para el paso de la cerveza del fermentador a la embotelladora. **Bomba centrífuga PP-22 220W / 230V 50Hz**

- Rendimiento 0,22 kW
- Salida BSP-M 3/4 "/ DN 20
- Entrada BSP-M 3/4 "/ DN 20
- Max. Caudal 29 l / min = 1,7 m³ / h
- Max. Presión de trabajo 6.0 Bar
- Max. Temperatura del líquido 60 ° C
- Nivel de seguridad IP55
- El. Conexión 1-ph 230 V ± 10% 50 Hz
- Dimensiones l x d x h 295 x 200 x 125 mm
- Peso 5 kg



Ilustración 24 Bomba

6.6.9. Báscula:

Se contará con una báscula para colgar digital para poder pesar el grano así como una báscula de precisión para el peso del lúpulo.

6.6.10. Frigorífico:

La planta contará con un pequeño frigorífico de 97 litros con congelador de 17Litros para conservar materias primas. Con un consume de 136kwh/año.

6.6.11. Instrumental de laboratorio:

El laboratorio estará equipado con los siguientes elementos,

- Refractómetro
- PH-metro
- Termómetro
- Probetas
- Pipetas
- Vaso de precipitados
- Erlenmeyer

7. CÁLCULOS

A continuación se muestran los cálculos que se han realizado, y que son fundamentales a la hora de la elección de los equipos necesarios para la planta

7.1. Volúmenes y cantidades de materia prima necesarios.

Partiendo de una receta generada de manera artesanal en un proceso piloto de reducida capacidad calcularemos los volúmenes necesarios para la producción de lotes de 1000 litros de los dos tipos de cervezas que hemos escogido, en este caso se realizarán los cálculos basándonos en la receta de la cerveza Pale Ale. Para la cerveza Brown ale los cálculos a realizar serían los mismos.

ELABORACIÓN PALE ALE

Para la elaboración del tipo de cerveza PALE ALE inglesa, la receta seguida para la obtención de 21 litros de cerveza es la siguiente.

- Cantidades de malta
 - MALTA PALE (Malta palida) 4250 g
 - MALTA CAMELO 400 g
- Cantidades de agua necesarias para el empaste es de 3 litros por cada kilo de malta
- Maceración simple a 65º o maceración escalonada:
 - 40/45ºC – 15'
 - 52/55ºC – 15'
 - 65/68ºC – 30'
 - 72/75ºC – 15'
- Volumen esperado en la etapa de cocción 22 litros.
- Tiempo de cocción 60 minutos, durante la etapa de cocción se procederá a la adición del lúpulo en el siguiente orden.
 - 20 gr lúpulo cascade al inicio de la cocción para otorgar el amargor. %AA 6,9
 - 15 gr lúpulo kent goldin a los 45' del inicio de la cocción para el sabor. %AA 5
 - 5 gr lúpulo Kent goldin a los 55/60' del inicio para el aroma. %AA 5
- Tras la cocción se obtiene un volumen de 21 litros con una densidad de 1050 gr/l que se traslada al fermentador, tras producir su enfriamiento a unos 20/22ºC.
- Se inoculará con levadura Windsord. La cantidad recomendada por el fabricante es de 100gr por cada 100 litros de mosto. La cantidad que se inocula es de 21 gr hidratada 30 minutos antes, la hidratación es de 10 veces su peso en agua por tanto se utilizarán 0,21 litros de agua.
- La fermentación primaria durará unos 6/7 días. Posteriormente se purgará el fermentador eliminando los precipitados y se bajará la temperatura del fermentador a 10ºC. La maduración tendrá una duración de 7/8 días, se purgará de nuevo el precipitado antes de pasar a embotellar. El proceso completo por tanto tendrá una duración de 14 a 16 días.

A continuación se muestran los cálculos necesarios para conocer los requerimientos de agua y materia prima en cada una de las etapas, ya que durante la elaboración de la receta piloto no se tuvieron en cuenta muchas medidas que son necesarias para conocer bien el proceso y poder dimensionarlo para lotes de producción mayores, en este caso de 1000 litros.

MACERACIÓN

La cantidad de malta añadida en la maceración es de 4650 gr de los cuales

4250 gr. – MALTA PALE ALE – 91,39 %

400 gr. – MALTA CAMELO – 8,61 %

La maceración se produce 3 litros de agua por kilo de malta por lo que el agua utilizada para el empaste es de:

$$V_{\text{agua}} = 3 \cdot K_{\text{gmalta}}$$

$$V_{\text{agua}} = 3 \cdot 4,650 = 13,95 \text{ L}$$

El agua añadida durante el empaste será de 13,95 litros, además se calculará el volumen que ocupará todo el macerado, para ello se tomará el volumen de la malta consultado en “Brewing: Science and Practice” como 0,67 L/Kg malta.

$$V_{\text{macerado}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{malta}}$$

$$V_{\text{macerado}} = 13,95 + 0,67 \cdot 4,650 = 17,065 \text{ L}$$

FILTRADO

A continuación se realizará el filtrado para ello se extraerá el primer mosto y seguidamente se realizará el lavado del grano, para extraer el resto de azúcares. Para el cálculo del volumen del primer filtrado se considera que la malta inicialmente seca retiene aproximadamente, según el libro “Brewing: Science and Practice” [1], 1 litro por cada kilogramo de malta. Aunque se considera que del primer filtrado se retiene ese volumen no es del todo cierto, pues al ser un proceso en continuo, el agua que queda retenida en el grano no tiene por qué ser del primer filtrado sino de la que se añade, pero a efectos de cálculo resulta útil.

$$V_{1\text{filtrado}} = V_{\text{agua}} - V_{\text{retenido}} = 13,95 - 4,65 = 9,3 \text{ L}$$

Se espera llevar a la etapa de cocción un volumen de unos 22 litros por lo que el volumen de agua para lavado del bagazo será:

$$V_{\text{lavado}} = V_{\text{cocción}} - V_{1\text{filtrado}} = 22 - 9,3 = 12,7 \text{ L}$$

Del volumen del mosto se considera a efectos de cálculo los siguientes porcentajes:

$$\%V_{1\text{filtrado}} = 9,3 / 22 \cdot 100 = 42,27\%$$

$$\%V_{\text{lavado}} = 12,7 / 22 \cdot 100 = 57,73\%$$

Además se debe considerar las pérdidas que se producen en el equipo (fondo del macerador, cuba de filtrado, tuberías...). Se considera esta pérdida como un 1% del volumen, para el caso de la elaboración de los 20 litros no se considerará pues los trasiegos son más directos y estas pérdidas son fáciles de reducir.

COCCIÓN

Durante la cocción se añadirán los lúpulos. Es importante calcular los gramos de lúpulo por litro de mosto añadido.

$$\text{Peso}_{\text{lúpulo}}(\text{g})/V_{\text{mosto}}$$

- Amargor Cascade $\rightarrow 20/22 = 0,9\text{g /litro de mosto}$
- Kent Goldin Sabor $\rightarrow 15/22 = 0,68\text{g /litro de mosto}$
- Kent Goldin Aroma $\rightarrow 5/22 = 0,23\text{ g /litro de mosto}$

El volumen al final de la cocción es de 21 litros pues ha evaporado una parte, la evaporación se considera de un 5% por las grandes cervecerías. La densidad que se tendrá en este punto es de 1050gr/l. Este volumen se enfría y pasa al fermentador.

FERMENTACIÓN

En la etapa de fermentación se añade la levadura, es importante calcular tanto la cantidad de agua que se añade al volumen final, como los gramos de levadura por litro de mosto.

En este caso el volumen de agua que se añade no es significativo pues es 0,21 litros.

$$\text{Levadura Windsord} \rightarrow 21\text{g}/21\text{litros} = 1\text{ g/litro de mosto}$$

Así mismo en la etapa de fermentación y maduración se considerará una pérdida de entre un 3% y 6% de volumen por eliminación de trub, lúpulo y levadura, esto lo tendremos en consideración para el dimensionamiento del proceso a lotes de 1000 litros.

7.2. Dimensionamiento para la elaboración de lotes de 1000 litros.

Para poder obtener un volumen de cerveza final de 1000 litros se realizan todos los cálculos partiendo del final del proceso para poder ir conociendo los volúmenes de agua e ingredientes de cada una de las etapas.

En primer lugar se calcula el 6% de pérdidas en volumen por la eliminación de los precipitados para clarificar la cerveza. Por lo que el volumen antes de la purga será de:

$$V_{\text{fermentador}} = V_{\text{cerveza}} + 0,06 \cdot V_{\text{cerveza}} = 1000 + 60 = 1060\text{ litros}$$

Puesto que antes de comenzar la fermentación se le añade la levadura y esta viene disuelta en un volumen de agua, esta adición de agua se la restaremos al volumen anterior para saber qué cantidad de mosto llega desde la etapa de cocción. Como se ha comentado se añade 1gr de levadura por litro de cerveza y se disuelve en 10 veces su peso en agua.

$$1000\text{ litros cerveza} \rightarrow 1000\text{ gramos de levadura}$$

$$1000\text{ gramos} \cdot 10 = 10000\text{ gramos de agua} = 10\text{ litros de agua}$$

Por lo que de la etapa de cocción tendremos 1050 litros una vez finalizada.

Ahora se consideran las pérdidas durante la etapa de cocción por evaporación que suponen un 5% del total del volumen con lo que del filtrado llegarán 1105,26 litros.

$$V = 1050 \cdot 100/95 = 1105,26 \text{ litros}$$

En este punto se considera el 1% de pérdidas de mosto que se producen en el equipo y por tanto el volumen que pasa por la etapa de filtrado es:

$$V = 1105,26 \cdot 100/99 = 1116,31$$

Ahora se considera el volumen que procede del primer filtrado y del segundo pues a partir de estos determinaremos la cantidad de malta a añadir. Tal y como se ha calculado anteriormente se conocen los porcentajes que representan cada uno de estos volúmenes:

$$V_{\text{filtrado1}} = 1116,31 \cdot 42,27\% = 471,86 \text{ litros}$$

$$V_{\text{lavado}} = 1116,31 \cdot 57,63\% = 644,44 \text{ litros}$$

Puesto que el volumen de mosto del primer filtrado representa el 66% del volumen de agua utilizada para macerar ya que se considera que en el bagazo ha quedado retenido un litro por kg de malta y la malta en el empaste representa un 33% se obtiene el volumen de agua y kg de malta utilizadas.

$$V_{\text{agua}} = 471,86 \cdot 100/66 = 714,93 \text{ litros}$$

La malta por tanto será de:

$$Kg_{\text{malta}} = 714,93/3 = 238,31 \text{ kg}$$

De los cuales

$$\text{Malta Pale Ale} \rightarrow 91,39\% \text{ de } 238,31 = 217,8 \text{ kg}$$

$$\text{Malta Caramelo} \rightarrow 8,61\% \text{ de } 238,31 = 20,5 \text{ kg}$$

El volumen que ocupará el macerado será de

$$V_{\text{macerado}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{malta}}$$

$$V_{\text{macerado}} = 714,93 + 0,67 \cdot 238,31 = 874,6 \text{ Litros}$$

Para el cálculo de lúpulo añadido en la etapa de cocción, para 1105,26 litros se añaden según los cálculos realizados anteriormente,

$$\text{Amargor Cascade} \rightarrow 0,9 \text{ g./litro de mosto} \rightarrow 1105,26 \cdot 0,9 = 994,7 \text{ g.}$$

$$\text{Kent Goldin Sabor} \rightarrow 0,68 \text{ g./litro de mosto} \rightarrow 1105,26 \cdot 0,68 = 751,57 \text{ g.}$$

$$\text{Kent Goldin Aroma} \rightarrow 0,23 \text{ g./litro de mosto} \rightarrow 1105,26 \cdot 0,23 = 254,20 \text{ g.}$$

CALCULO DE PORCENTAJE DE ALCOHOL

La densidad especifica final (FG en inglés) que alcanza la cerveza Pale ale según la receta seguida es de 1,010 Kg/L. La densidad deseada al inicio de la fermentación (OG en inglés) es de 1,050 Kg/L. Se puede considerar esta densidad en grados plato °P que son muy utilizados en este sector. Para pasar de densidad específica a grados plato °P y viceversa se utilizan las siguientes fórmulas:

$$^{\circ}\text{P} = 259 - (259 / d(\text{Kg/L}))$$

$$d (\text{Kg/L}) = 259 / (259 - ^{\circ}\text{P})$$

Por lo que la cerveza elaborada pasará de 12,33°P a 2,56 °P

$$^{\circ}\text{P} = 259 - (259 / 1,050) = 12,33 \text{ }^{\circ}\text{P}$$

$$^{\circ}\text{P} = 259 - (259 / 1,010) = 2,56 \text{ }^{\circ}\text{P}$$

De manera aproximada se calcula el grado alcoholico presente en la cerveza del siguiente modo.

La reacción que se produce durante la fermentación de la glucosa en etanol y dióxido de carbono tiene la siguiente relación, por lo tanto por cada molecula de CO₂ que se forma se genera tambien una de etanol:



Durante la etapa de fermentación el CO₂ se escapa del fermentador, por tanto se puede considerar que la perdida de densidad se debe al CO₂ que escapa, si bien es cierto que no todo escapa y que durante la etapa de maduración cerramos la valvula para que el CO₂ quede disuelto en nuestra cerveza, pero a nivel aproximativo estos cálculos son muy utiles.

El peso molecular del CO₂ es de 44,0098 y el del etanol 46,0688 por lo que se puede decir que por cada gramos de CO₂ que se escapa se forma 1,05gr de Etanol.

Conocidas las densidades inicial y final tenemos

$$1,050 - 1,010 = 0,04 \text{ Kg/L}$$

Considerando estos 0,04Kg/L como la cantidad de CO₂ que se pierde multiplicando por 1,05 se obtiene la cantidad de alcohol etílico que se ha generado por litro de cerveza

$$0,04 \cdot 1,05 = 0,042 \text{ Kg/L}$$

Por lo que para calcular la densidad de alcohol en la cerveza pale ale elaborada.

$$d_{\text{etanol}} = (\text{OG} - \text{FG}) \cdot 1,05$$

Si se divide por la densidad total se obtendrá el % de masa de alcohol en la cerveza.

$$d_{\text{etanol}} / \text{FG} \cdot 100 = \% \text{ Etanol en peso}$$

$$0,042 / 1,010 \cdot 100 = 4,16\% \text{ etanol en peso}$$

Lo más habitual es mostrar el porcentaje de alcohol en volumen (%V/V) puesto que la densidad del alcohol es de 0,79 kg/L basta con dividir el resultado por dicha densidad.

$$4,16 / 0,79 = 5,27\% \text{ Alcohol en volumen}$$

Se puede por tanto concluir de manera aproximada que la cerveza Pale Ale elaborada tiene un 5,27% de Alcohol.

Como ya se ha comentado es una forma aproximada de tener una idea del alcohol que se encontrará en el producto final la forma más precisa sería realizar un destilado de etanol para conocer su volumen exacto. Pero esto requiere de un proceso más complejo que tomar la densidad de la cerveza inicial y final.

CALCULO DE AMARGOR O GRADOS IBU

El amargor de la cerveza se mide en grado IBU (International Bitterness Unit), son los miligramos de iso-alpha ácidos disueltos por litro de cerveza. Los alpha ácidos al isomerizar son los que dan amargor a la cerveza.

Este parámetro se determina en laboratorio mediante espectrofotómetro, pero existen fórmulas para calcular de manera muy aproximada su valor.

Existen diversos autores que proponen sus métodos

- Daniels --(Designing Great Beers, Brewers Publications 1996)
- Rager -- (Calculating Hop Bitterness in Beer, Zymurgy Special Issue 1990 Vol 13, No. 4)
- Garetz -- (Using Hops, The Complete Guide to Hops for the Craft Brewer, Hop Tech 1994).
- Tinseth -- (<http://www.realbeer.com/hops>)

El método Rager y el método Garetz dan valores en los extremos, el método Daniels y el Tinseth dan valores más intermedios y aproximados entre sí, por ello se utilizará el método Tinseth.

Para calcular empíricamente el grado de amargor, utilizará la siguiente fórmula

$$\text{IBU} = \frac{\sum W \cdot U \cdot AA \cdot 1000}{V}$$

W: Peso del lúpulo en gramos.

AA: % de alfa ácidos / 100.

V: Volumen después de la cocción en litros.

U: Factor de utilización.

El factor de utilización viene determinado por la siguiente fórmula se mantienen los nombres que el autor da a cada parámetro, para no hacer traducciones que puedan resultar erróneas.

$$U = BF \cdot BTF$$

Donde :

$$\text{Bigness Factor (BF)} = 1,65 \cdot 0,000125^{\frac{G_{\text{boil}}}{1000} - 1}$$

$$\text{Boil Time Factor (BTF)} = [1 - e^{(-0,04 \cdot t)}] / 4,15$$

$$G_{\text{boil}} = \left[\left(\left(\frac{OG}{1000} - 1 \right) \cdot \frac{V}{V_{\text{pre-boil}}} \right) + 1 \right] \cdot 1000$$

t: Tiempo de hervor en minutos

OG: Densidad especifica inicial del mosto (g/L)

V_{pre-boil}: Volumen del mosto antes de iniciar la cocción

Por tanto para el cálculo de IBU de la cerveza PALE ALE se han utilizado los siguientes lúpulos con el siguiente contenido en Alfa-Ácidos y durante el tiempo expresado entre parentesis.

1.Cascade %AA 6,9 pellet → w=994,7 g. (t=60')

2.Kent Goldin %AA 5 pellet → w=751,57 g. (t=15')

3.Kent Goldin %AA 5 pellet → w=254,20 g. (t=5')

V = 1050 litros

V_{pre-boil} = 1105,26 litros

OG = 1050 g/l

$$G_{\text{boil}} = (((1050/1000)-1)) \cdot (1050/1105,26) + 1 \cdot 1000 = 1047,5$$

$$\text{BF} = 1,65 \cdot 0,000125^{\frac{1047,5}{1000} - 1} = 1,076$$

Se Calcula por tanto el U para cada uno de los lúpulos

$$\text{BTF}_1 = [1 - e^{(-0,04 \cdot 60)}] / 4,15 = 0,22$$

$$U_1 = 0,22 \cdot 1,076 = 0,236$$

$$\text{BTF}_2 = [1 - e^{(-0,04 \cdot 15)}] / 4,15 = 0,11$$

$$U_2 = 0,11 \cdot 1,076 = 0,117$$

$$\text{BTF}_3 = [1 - e^{(-0,04 \cdot 5)}] / 4,15 = 0,04$$

$$U_3 = 0,04 \cdot 1,076 = 0,047$$

Por tanto

$$\text{IBU} = \frac{(994,7 \cdot 0,236 + 751,57 \cdot 0,117 + 254,20 \cdot 0,047) \cdot 1000}{1050} = 22,32$$

El índice de amargor obtenido está dentro del rango para el tipo de cerveza que se está preparando.

En la siguiente tabla se muestran los resultados y valores de interés.

CUADRO RESUMEN

Tipo	PALE ALE
Volumen Producido	1000l
Grado alcohólico	5,27º
IBU	22,33
MACERADO 3:1	
Malta Pale Ale	217,8 kg
Malta Caramel	20,5 kg
Volumen agua macerado	714,93 l
FILTRADO	
Volumen 1er filtrado	471,86 l
Volumen lavado	644,44
Porcentaje perdidas equipo	1%
COCCIÓN	
Volumen cocción	1105,26 l
Lúpulo Amargor Cascade	994,7 g. 60 minutos
Lúpulo Kent Goldin Sabor	751,57 g. 15 minutos
Lúpulo Kent Goldin Aroma	254,20 g. 5 minutos
Volumen final cocción	1050 litros
Perdidas por evaporación	5%
FERMENTACIÓN Y MADURADO	
Levadura Windsord	1000g / 10 litros
Densidad inicial (OG)	1,050 Kg/l
Perdidas purga	6%
Densidad final	1010 Kg/l

Tabla 8 Valores Pale Ale

En la planta se pretende elaborar también cerveza Brown Ale, aunque la planta está preparada para producir cualquier tipo de cerveza. Los cálculos que se seguirían para la elaboración de otros tipos de cerveza serían iguales a los descritos anteriormente.

7.3. Cálculo dimensión de los fermentadores

7.3.1. Volumen, altura y diámetro

Inicialmente la planta está pensada para poder producir los dos tipos de cerveza planeadas, para ello se debe contar con el mismo número de fermentadores que tipos de cerveza. Puesto que en el fermentador se produce tanto la etapa de fermentación, como maduración y clarificado es conveniente que se cuente con fermentadores suficientes. Por tanto se tendrán 2 fermentadores.

Las dimensiones de los fermentadores vendrán determinadas por el volumen de cerveza a elaborar. Se tendrá en cuenta que durante la fermentación se produce gran cantidad de espuma, es por ello que se considerará un 20% más de volumen de la cerveza que queremos elaborar para dimensionar el fermentador.

$$V_{\text{fermentador}} = V_{\text{producido}} + 0,20 \cdot V_{\text{producido}}$$

$$V_{\text{fermentador}} = 1000 + 0,20 \cdot 1000 = 1200 \text{ litros}$$

El fermentador será cilíndrico-cónico como los fermentadores que se utilizan en la industria de la cerveza, para ello se calculan, las dimensiones de las 3 partes fundamentales del fermentador.

- La tapa – Será elipsoidal
- Cuerpo – Será cilíndrico
- La Base – Será cónica con un ángulo de 60°.

Además los fermentadores guardan la relación 1:2 o 1:3 respecto al diámetro con la altura, se selecciona para el diseño una relación 1:2.

$$H_{\text{fermentador}} = 2d_{\text{fermentador}}$$

Es importante calcular cada uno de los volúmenes de las tres partes del fermentador.

$$V_{\text{fermentador}} = V_{\text{tapa}} + V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{base}}$$

El volumen de la cabeza o tapa es el volumen de un elipsoide partido por 2 ya que solo tendremos la mitad del mismo

$$V_{\text{elipsoide}} = \frac{4}{3} \pi abc \quad \text{Donde } a = d/2 \quad b = d/2 \quad c = h_{\text{tapa}}$$

$$V_{\text{tapa}} = (\pi \cdot d^2 \cdot h_{\text{tapa}}) / 6$$

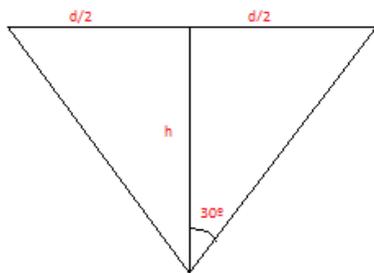
Además se establece que el alto de la cabeza será de $\frac{1}{4}$ del diámetro $h_{\text{tapa}} = \frac{1}{4}d$ por lo que:

$$V_{\text{tapa}} = (\pi \cdot d^3) / 24$$

El volumen de la base será igual al volumen de un cono

$$V_{\text{cono}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h_{\text{cono}}$$

Puesto que el cono tiene 60° , basándonos en las razones trigonométricas podemos hallar la altura, h_{base}



$$\tan 30^\circ = d/2 \cdot h_{\text{base}}$$

$$h_{\text{base}} = (d/2) / \tan 30^\circ$$

Por tanto el volumen de la base en función de d será

$$V_{\text{base}} = \pi \cdot d^3 / (24 \cdot \tan 30^\circ)$$

El volumen del cuerpo es cilíndrico, en función del diámetro será:

$$V_{\text{cuerpo}} = \pi \cdot h_{\text{cilindro}} \cdot d^2 / 4$$

La altura del cuerpo será a su vez la altura total menos la altura de la tapa y la base

$$h_{\text{cilindro}} = H_{\text{fermentador}} - h_{\text{tapa}} - h_{\text{base}}$$

Sustituyendo valores conocidos en función de d

$$h_{\text{cilindro}} = 2d - d/4 - d/(2 \tan 30^\circ)$$

Sustituyendo y Operando se obtiene:

$$V_{\text{tapa}} = 0,131 \cdot d^3$$

$$V_{\text{base}} = 0,227 \cdot d^3$$

$$V_{\text{cuerpo}} = 0,694 \cdot d^3$$

Sustituyendo el volumen en m³ se obtiene

$$V_{\text{fermentador}} = V_{\text{tapa}} + V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{base}}$$

$$1,2 = (0,131+0,227+0,694) \cdot d^3$$

$$d_{\text{fermentador}} = \mathbf{1,04 \text{ metros}}$$

$$H_{\text{fermentador}} = 2 \cdot d$$

$$H_{\text{fermentador}} = \mathbf{2 \cdot 1,04 = 2,08 \text{ metros}}$$

El fermentador calculado tendrá una altura de 2,08 metros y 1,04 metros de altura.

7.3.2. Cálculo de espesor

Se determinará así mismo los espesores que ha de tener el fermentador realizado en acero AISI 316, (grado austenítico estándar 1,4401) que es el más usual en este tipo de reactores.

Como se trata de un recipiente a presión se seguirán las fórmulas indicadas en el código A.S.M.E. para recipientes a presión. Las formulas se extraen del código, que se pueden consultar en el ANEXO V.

Se calculará el espesor para cada una de las partes antes definidas del fermentador. A pesar de que según el código ASME está todo definido en libras y pulgadas, se realizará el paso a kilogramos y milímetros.

$$\text{ESPESOR DE LA TAPA} \quad t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 P} + C \cdot A.$$

$$\text{ESPESOR DEL CUERPO} \quad t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A.$$

$$\text{ESPESOR DE LA BASE} \quad t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (S \cdot E - 0,6 P)} + C \cdot A.$$

Donde cada uno de los términos representa

t – Espesor de la pared (mm)

P – Presión de diseño (N/mm²)

D – Diámetro interior de la pieza (mm)

R – Radio interior de la pieza (mm)

S – Valor de esfuerzo del material(N/mm²) será de 595 N/mm².Se toma el valor medio para chapa laminada en caliente para el Acero AISI 316 que se encuentra en las propiedades mecánicas especificadas para los aceros inoxidables usuales según EN 10088-2 (ANEXO VI)

E – Eficiencia de la junta, Se toma el valor de 0,85 para una soldadura a tope unida por ambos lados y analizada por puntos (ANEXO VII)

α – mitad del ángulo del cono (grados) será de 30°

C.A. – margen de corrosión que se suma a la fórmula por seguridad (mm) normalmente es de 0,125 pulgadas que equivale a 3,18mm

Por tanto queda por conocer el valor de la presión de diseño.

La presión de diseño viene definida como, el valor que debe utilizarse para el cálculo de las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión. Dicho valor será de:

$$\text{Si } P_o > 300 \text{ psi o } 2,07\text{N/mm}^2 \quad P = 1.1 \cdot P_o$$

$$\text{Si } P_o \leq 300 \text{ psi o } 2,07 \text{ N/mm}^2 \quad P = P_o + 30 \text{ psi ó } 0,207\text{N/mm}^2$$

Donde **P_o** es la presión de operación. La presión del fermentador será la presión que genere la columna de líquido en el interior del tanque, más la presión que genere el CO₂ en el interior del tanque.

$$P_o = P_{\text{líquido}} + P_{\text{CO}_2}$$

La presión del CO₂ vendrá determinada por el tipo de cerveza a elaborar y la cantidad de CO₂ que se pretende tener disuelta en la cerveza, para ello observando en las siguientes tablas, extraídas de la revista Mash especializada en cerveza [12], se tiene la cantidad de CO₂ disuelto en cada tipo de cerveza y la presión a que se necesita para dicho nivel de CO₂ a diferentes temperaturas.

Estilo de Cerveza	Volúmenes de CO2
Ales Inglesas	1,5 – 2,0
Porter y Stouts	1,7 – 2,3
Belgian Ales	1,9 – 2,4
Lagers europeas	2,2 – 2,7
Ales y lagers europeas	2,2 – 2,7
Lambics	2,4 – 2,8
Lambics frutadas	3,0 – 4,5
Alemanas de trigo	3,3 – 4,5

Tabla 10 Volumen de CO2 para cada tipo de cerveza

Presión (en PSI)		Volúmenes de CO2					
		2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
Temperatura en °C	0°	3.5	5.4	7.3	9.2	11.0	12.9
	1°	4.2	6.2	8.1	10.1	12.0	14.0
	2°	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0
	3°	5.7	7.8	9.9	12.0	14.0	16.1
	4°	6.5	8.6	10.8	12.9	15.1	17.2
	5°	7.3	9.5	11.7	13.9	16.1	18.3
	6°	8.1	10.3	12.6	14.9	17.1	19.4
	7°	8.8	11.2	13.5	15.8	18.2	20.5
	8°	9.6	12.0	14.4	16.8	19.2	21.6
	9°	10.4	12.9	15.4	17.8	20.3	22.7
	10°	11.3	13.8	16.3	18.8	21.3	23.8
	11°	12.1	14.7	17.2	19.8	22.4	25.0
	12°	12.9	15.6	18.2	20.8	23.5	26.1
	13°	13.7	16.4	19.2	21.9	24.5	27.2
	14°	14.6	17.4	20.1	22.9	25.6	28.4
	15°	15.4	18.3	21.1	23.9	26.7	29.6
	16°	16.3	19.2	22.1	25.0	27.8	30.7
	17°	17.1	20.1	23.1	26.0	29.0	31.9
	18°	18.0	21.0	24.1	27.1	30.1	33.1
	19°	18.9	22.0	25.1	28.1	31.2	34.3
20°	19.8	22.9	26.1	29.2	32.4	35.5	

Tabla 10 Presión del CO2 a diferentes temperaturas y volúmenes

A pesar de que, durante la fermentación la válvula permanecerá abierta y durante la maduración se trabaja a temperaturas inferiores a 15° se tomará el valor más desfavorable para tener una seguridad en el diseño. Se toma el valor correspondiente a 3 volúmenes de CO₂ y a 20°C igual a 35,5 psi equivalente a 0,245 N/mm².

$$P_{\text{co}_2} = 0,245 \text{ N/mm}^2$$

Respecto a la presión del líquido esta corresponderá con:

$$P_{\text{líquido}} = \text{densidad} \cdot \text{altura del líquido} = \rho \cdot H_{\text{líquido}}$$

$$\rho = 1,010 \text{ kg/l} \rightarrow 9,9 \cdot 10^{-6} \text{ N/mm}^3$$

La altura al conocer el volumen del líquido 1000 litros y el volumen de cada una de las partes del fermentador se puede hallar con facilidad. $d = 1,04 \text{ m} = 10,4 \text{ dm}$

$$V_{\text{base}} = 0,227 \cdot d^3$$

$$V_{\text{base}} = 255,34 \text{ litros}$$

$$h_{\text{base}} = (d/2)/\tan 30^\circ$$

$$h_{\text{base}} = 900 \text{ mm}$$

Conocido el volumen del cono y la altura. Se calcula que altura del cilindro alcanzará el volumen restante

$$1000 - 255,34 = 744,66 \text{ litros}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \cdot h \cdot d^2/4$$

$$h = 876,5 \text{ mm}$$

La altura que alcanzará la columna de líquido será

$$H_{\text{líquido}} = h_{\text{base}} + h = 900 + 876,5 = 1776,5 \text{ mm}$$

La presión que ejercerá el líquido será:

$$P_{\text{líquido}} = 9,9 \cdot 10^{-6} \cdot 1776,5 = 0,0176$$

La presión de operación será por tanto

$$P_o = P_{\text{líquido}} + P_{\text{CO}_2} = 0,0176 + 0,245 = 0,2626$$

Puesto que: $P_o \leq 2,07 \text{ N/mm}^2$ la presión de diseño será

$$P = P_o + 0,207 \text{ N/mm}^2 = 0,207 + 0,2626 = 0,4696 \text{ N/mm}^2$$

Sustituyendo todos los valores en las fórmulas anteriores obtenemos:

$$\text{ESPESOR DE LA TAPA} \quad t = \frac{0,47 \cdot 1040}{2 \cdot 595 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 0,47} + 3,18 = 3,66 \text{ mm}$$

$$\text{ESPESOR DEL CUERPO} \quad t = \frac{0,47 \cdot 520}{595 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 0,47} + 3,18 = 3,663 \text{ mm}$$

$$\text{ESPESOR DE LA BASE} \quad t = \frac{0,47 \cdot 1040}{2 \cdot \cos 30^\circ \cdot (595 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 0,47)} + 3,66 = 4,22 \text{ mm}$$

Por tanto el espesor que tomaríamos sería el mayor que será de 4,22 mm, para nuestro fermentador soporte las condiciones de trabajo más desfavorables.

7.4. Cálculo proceso de enfriado mosto

Una vez terminada la cocción del mosto se procede a su trasiego para comenzar la etapa de fermentación, es aquí como anteriormente se ha descrito donde se produce el enfriamiento del mosto.

Se utiliza un intercambiador de placas, en este apartado se muestran los cálculos realizados para conocer los caudales adecuados que pasarán por el intercambiador de placas, el tiempo que llevará el enfriamiento y el área necesaria para que se produzca el correcto descenso de temperatura del mosto.

7.4.1. Cálculo caudales y Tª salida de agua

Se pretende llevar el mosto que se encuentra a una temperatura de 98°C tras la cocción a una temperatura óptima para la fermentación de 20°C, para ello se utilizara agua a 10°C de temperatura, haciéndola pasar por un intercambiador de placas. Se calcula la temperatura de salida del agua inicialmente a 10°C y el caudal al que se hará pasar ambos líquidos a través del intercambiador.

Se cumple un balance de energía y todo el calor cedido por el fluido caliente en este caso el mosto pasará al fluido frío. Para ello se cumplirá

$$m_{\text{mosto}} \cdot C_{p\text{mosto}} \cdot (T_{\text{emosto}} - T_{\text{smosto}}) = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{p\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{\text{sh}_2\text{O}} - T_{\text{eh}_2\text{O}})$$

En función del caudal másico en lugar de la masa es posible conocer los julios/hora.

$$Q_{\text{masico}} = \rho \cdot Q_{\text{volumetrico}} \quad (\text{kg/h})$$

$$Q_{m\text{mosto}} \cdot C_{p\text{mosto}} \cdot (T_{\text{emosto}} - T_{\text{smosto}}) = Q_{m\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{p\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{\text{sh}_2\text{O}} - T_{\text{eh}_2\text{O}}) \quad (\text{J/h})$$

Se consideran las características del mosto similares a las de agua. Se consideran las densidades a la temperatura media en cada uno de los líquidos ya que al ser un intercambiador de calor la densidad variará con la temperatura. Para el caso del mosto a 59°C y en el caso del agua al no conocer a que temperatura saldrá se hará a 55°C tomamos los datos de la tabla de densidades del agua líquida (ANEXO VIII).

Estas serán por tanto las condiciones de partida

MOSTO	AGUA
$T_{emosto} = 98^{\circ}\text{C} = 371 \text{ K}$	$T_{eH2O} = 10^{\circ}\text{C} = 283\text{K}$
$T_{smosto} = 20^{\circ}\text{C} = 293 \text{ K}$	$T_{SH2O} = \text{¿?}$
$C_{pmosto} = C_{pH2O} = 4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$	$C_{pH2O} = 4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
$\rho_{59^{\circ}} = 983,64 \text{ kg/m}^3$	$\rho_{55^{\circ}} = 985,65 \text{ kg/m}^3$

Tabla 11 Condiciones iniciales

Se dan valores para los distintos caudales volumétricos para ambos líquidos de $0,5\text{m}^3/\text{h}$ a $1\text{m}^3/\text{h}$ estos caudales no pueden ser muy altos para que se produzca el intercambio de calor, a modo de ejemplo se muestra el cálculo realizado para los caudales tanto del mosto como del refrigerante de $0,5\text{m}^3/\text{h}$

$$Q_{mmosto} = 0,5 \cdot 983,64 = 491,82 \text{ kg/h}$$

$$Q_{mH2O} = 0,5 \cdot 985,65 = 492,825 \text{ kg/h}$$

$$Q_{mmosto} \cdot C_{pmosto} \cdot (T_{emosto} - T_{smosto}) = Q_{mH2O} \cdot C_{pH2O} \cdot (T_{SH2O} - T_{eH2O}) \quad (\text{J/h})$$

$$491,82 \cdot 4180 \cdot (371 - 293) = 492,825 \cdot 4180 \cdot (T_{SH2O} - 283)$$

$$T_{SH2O} = 360,84 \text{ K} = 87^{\circ}\text{C}$$

La temperatura que alcanzará el líquido refrigerante es de 87°C , se ha realizado una tabla en la que se muestran todos los resultados obtenidos de temperatura y tiempo necesario para hacer pasar los 1000 litros de mosto del proceso por el intercambiador según estos parámetros. La temperatura ya se muestra en $^{\circ}\text{C}$, se ha colocado una línea donde los valores obtenidos no tienen lógica por superar la temperatura de salida del agua la temperatura de entrada del mosto.

$\begin{matrix} Q_{mosto} \\ Q_{H2O} \\ (m^3/h) \end{matrix}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	1
0,5	87,8	-	-	-	-	-
0,6	74,9	87,8	-	-	-	-
0,7	65,6	76,7	87,8	-	-	-
0,8	58,7	68,4	78,1	87,8	97,6	-
0,9	53,2	61,9	70,5	79,2	87,8	96,5
1	48,9	56,7	64,5	72,3	80,1	87,8
Tiempo(h)	2	1,667	1,429	1,250	1,111	1

Tabla 12 Temperatura salida del agua a diferentes caudales

A la vista de los resultados se obtiene un buen compromiso en temperatura de salida del refrigerante y tiempo empleado para enfriar el mosto a la temperatura de fermentación, trabajando con caudales de 1 m³/h

$$T_{SH20} = 360,84 \text{ K} = 87,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

7.4.2. Cálculo superficie del intercambiador

Se calcula también de manera simplificada el área de intercambio óptima que permite realizar el proceso que se ha especificado anteriormente, para ello se aplica la siguiente ecuación de transmisión

$$q = U \cdot A \cdot \text{LMTD}$$

Donde

q – Calor o potencia intercambiado por los fluidos calculados anteriormente en J/h pero que se utilizarán en W

A – Área de intercambio que se pretende calcular (m²)

U – Coeficiente global de transferencia térmica (W/m²·K)

LMTD – Diferencia logarítmica media de temperaturas. (K)

- Por tanto el calor o potencia intercambiada según las condiciones calculadas anteriormente es:

$$q = Q_{m\text{mosto}} \cdot C_{p\text{mosto}} \cdot (T_{e\text{mosto}} - T_{s\text{mosto}})$$

$$q = 983,64 \cdot 480 \cdot (371 - 293) = 320705985,6 \text{ J/h}$$

$$q = 320705985,6 / 3600 = 89084,996 \text{ J/s} = 89084,996 \text{ w}$$

- El coeficiente global de transferencia térmica (U) es un factor que se obtiene como la suma de cada una de las resistencias térmicas presentes, resistencia térmica de convección, resistencia térmica de conducción y resistencia térmica de ensuciamiento. Es un valor que se debe calcular para cada intercambiador según sus características. No obstante existen algunos coeficientes estimados de algunos coeficientes globales de transferencia, como es en el caso de un intercambiador agua-agua que observamos en la siguiente tabla:

COMPONENTE FÍSICO	Btu/ft ² h°F	W/m ² °K
Ventana de cristal plano	1,1	6,2
Ventana de doble cristal plano	0,4	2,3
Condensador de vapor	20 a 1000	1100 a 5700
Calentador de agua del ciclo	200 a 1500	1100 a 8500
Termopermutador agua-agua	150 a 300	850 a 1700
Termopermutador tubo aleteado (agua interior a tubos)	5 a 10	30 a 300
Termopermutador tubo aleteado (aire exterior a tubos)	5 a 10	30 a 300
Termopermutador agua-aceite	20 a 60	110 a 340
Vapor a gas	5 a 50	30 a 300
Agua a gas	10 a 20	55 a 200

Tabla 13 Valores aproximados de coeficiente global de calor U

Para este problema se tomará el valor en w/m²K al tratarse de un rango entre 850-1700 se utilizará el valor medio de dicho rango:

$$U = 1275 \text{ w/m}^2\text{K}$$

- La diferencia logarítmica media de temperatura, depende de las temperaturas de entrada y de salida del producto y del refrigerante estas cuatro temperaturas son conocidas, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$LMTD = \frac{(T_{emosto} - T_{sH_2O}) - (T_{smosto} - T_{eH_2O})}{\ln\left(\frac{T_{emosto} - T_{sH_2O}}{T_{smosto} - T_{eH_2O}}\right)}$$

Sustituyendo los valores vistos anteriormente

$$LMTD = \frac{(371 - 360,84) - (293 - 283)}{\ln\left(\frac{371 - 360,84}{293 - 283}\right)} = 10,08$$

Con los valores calculados se puede obtener el área de intercambio óptima para el intercambiador

$$q = U \cdot A \cdot LMTD$$

$$A = \frac{q}{U \cdot LMTD}$$

$$A = \frac{89085}{1275 \cdot 10,08} = 6,93 \text{ m}^2$$

El intercambiador tendrá por tanto 6,93 m² de área de intercambio óptima

7.5. Cálculo potencia requerida de la planta

Según las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos que formarán parte de la planta, Se determina la potencia necesaria que ha de ser contratada.

Equipo	Tensión	Potencia
Molino de malta	230 V	1,5 kW
Sala de cocción Breworx Tritank *	400 V	6 kW
Embotelladora	230 V	0,37 kW
Tanque agua caliente	230 V	1,5 kW
Bomba tanque agua caliente	230 V	0,36 kW
Generador de vapor	400 V	20 kW
Equipo de frio	230 V	4,5 kW
Etiquetadora	230 V	0,2 kW
Bomba centrifuga	230 V	0,22 kW
Frigorífico	230 V	0,01 kW
Línea alumbrado (aprox)		0,4 kW
Línea de enchufes		3,6 kW
POTENCIA TOTAL	400V	38,66 kW

Tabla 14 Potencia de los equipos

*La sala de cocción Breworx Tritank cuenta con los siguientes elementos eléctricos que superan los 6kw de potencia que indica el fabricante, esto se debe a que en ningún momento todos los elementos que componen el equipo estarán en funcionamiento simultáneamente.

Bomba de extracción	1,5 kW
Convertidor de frecuencia Fronic	1,5 kW
2xConvertidor de frecuencia Fronic	2x0,75 = 1,5kw
Agitador cuba macerado	1,1 kW
Caja cambios cuba filtrado	2,2 kW

Tabla 15 Potencia de los equipos Breworx

Según los cálculos la potencia total será de 38,66 kW, si bien es cierto que todos los equipos no estarán funcionando al mismo tiempo, por lo que se considera un factor de simultaneidad del 80%. La potencia contratada será de 30,928 kW con una instalación trifásica (400V).

$$38,66 \text{ kW} \cdot 0,8 = 30,928 \text{ kW} = 31 \text{ kW}$$

No obstante la instalación contará con un maxímetro en lugar de un interruptor de control de potencia, para que la planta no se quede sin suministro en caso de superar la potencia contratada.

8. COSTO DE PRODUCCIÓN DE UN LOTE DE CERVEZA

A continuación se muestra el costo de producción de un lote de 1000 litros en la planta diseñada. Es importante destacar que únicamente se calculan los costes relativos a la materia prima, agua y electricidad.

Los costes de contratación de personal, amortización de la industria, alquiler y otros gastos adicionales no se consideran en este apartado, ya que, el cálculo es relativo a la producción de un lote. Los costos mencionados anteriormente se prorratearían de diferente manera en función de los lotes que se produzcan.

Los costes de materia prima se harán relativos a la cerveza descrita en el presente proyecto, Pale Ale, es evidente que estos costes variarán en función de la cerveza que se elabore, pero el procedimiento de cálculo será el mismo.

8.1. Costo materia prima

En la siguiente tabla se muestra el consumo de cada materia prima para 1000 litros, su precio por unidad y su costo total.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	PRECIO/UNIDAD	TOTAL
Malta Pale Ale	217,8 kg	1,08 €/kg	235,22 €
Malta Caramel	20,5 kg	1,27 €/kg	26,03 €
Lúpulo Cascade	994,7 g	0,03 €/g	29,84 €
Lúpulo Kent Goldin	1005,7 g	0,04 €/g	40,22 €
Levadura Windsord	1 kg	99,48 €/kg	99,48 €
TOTAL			430,79 €

Tabla 16 Costo materia prima

ENVASADO

Se considerará el envasado de los 1000 litros en botellas de 33cl.

PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO/UNIDAD	TOTAL
Botella 33cl	3000 u.	0,07 €/u	210 €
Chapa 33 cl	3000 u.	0,03 €/u	90 €
Etiqueta	3000 u.	0,02 €/u	60 €
TOTAL			360 €

Tabla 17 Costo envasado

*Precios extraídos tienda online “cervezartesana.es” [13]

8.2. Costo agua

El costo de agua se calculará en base a la información de la revista Mash [12], revista especializada en el sector de la cerveza, que considera que *“Actualmente se puede decir que usar en total unos 4.5 - 5 litros de agua por cada litro de cerveza producida es un buen promedio para cualquier cervecería. De esa cantidad de 2 a 3 partes resultarían aguas residuales, 1 parte se perdería en el bagazo, por evaporación, en el fermentador y en otras partes del proceso y por último 1 parte sería el volumen del producto (la cerveza) terminado.”*

Por tanto considerando el uso del agua como 5 litros por litro producido, tendremos un consumo de agua de 5000 litros por cada lote de cerveza.

La planta tendrá un contador de 20 mm que tendrá las características mostradas en la tabla

Díámetro Nominal DN (mm) - Pulgadas (")	Longitud Contador (mm) sin conexiones	Modelo de Contador	Rosca contador	Conexión	(Qn) m ³ /h	(Qmax m ³ /h)	(Qmin)
20 - 3/4"	190	Chorro Múltiple	1"-1"	Racores	2,5	5	50 l/h

Tabla 18 Características contador 20mm

Se considerará que se pueden llegar a producir 3 lotes mensuales dadas las características de la planta, por lo que el consumo mensual será de 15m³.

La planta contará con un contrato de grandes cliente con aguas de alicante en el término municipal de Sant Joan d'Alacant. En el ANEXO VII, se pueden consultar las tarifas de cada uno de los conceptos para la población.

Concepto	Precio/unidad	Unidad	Total mensual
CUOTA SERVICIO			
Contador 20mm	35,19 €/mes	1	35,19 €
CUOTA CONSUMO			
De 0 a 3 m ³ /mes	0,01 €/m ³	3	0,03 €
De 4 a 10 m ³ /mes	0,17 €/m ³	7	1,19 €
De 11 a 20 m ³ /mes	0,67 €/m ³	5	3,35 €
CONSERVACIÓN CONTADOR			
Contador 20mm	1,12 €/mes	1	1,12 €
ALCANTARILLADO			
HASTA 5 m ³	0,020 €/m ³	5	0,1 €
De 6 a 15 m ³	0,126 €/m ³	10	1,26 €
SANEAMIENTO Población 10001/50000			
Cuota consumo	0,412 €/m ³	15	6,18 €
Cuota servicio	43,81 €/año	1/12	3,65 €
TOTAL			52,07 €/mes

Tabla 19 Costo agua

Puesto que se ha considerado la producción de 3 lotes, la producción de un único lote conllevará 1/3 de esta cantidad, 17,36 €.

8.3. Costo electricidad

Para el cálculo del costo de la electricidad se contratará la Tarifa 3.0A, para potencia contratada de más de 10kW, la tarifa tomada de Iberdrola se muestra en la siguiente tabla

TARIFAS DE ACCESO BAJA TENSIÓN (CON POTENCIA CONTRATADA MAYOR DE 10 kW)

TARIFAS	TÉRMINO DE POTENCIA €/ kW AÑO		TÉRMINO DE ENERGÍA €/ kWh	
2.1A	44,444710		0,057360	
2.1DHA	44,444710		Periodo tarifario 1	0,074568
			Periodo tarifario 2	0,013192
2.1DHS	44,444710		Periodo tarifario 1	0,074568
			Periodo tarifario 2	0,017809
			Periodo tarifario 3	0,006596
3.0A	Periodo tarifario 1	40,728885	Periodo tarifario 1	0,018762
	Periodo tarifario 2	24,437330	Periodo tarifario 2	0,012575
	Periodo tarifario 3	16,291555	Periodo tarifario 3	0,004670

Tabla 20 Tarifario Iberdrola

La tarifa contratada cuenta con tres tramos tarifarios: punta, llano y valle, a efectos de cálculo se considerará que se trabaja siempre en el periodo de llano.

Respecto al consumo en la siguiente tabla se hace una aproximación. Se consideran los tiempos de cada etapa del proceso de producción que se muestran en la tabla 7, del apartado de descripción del proceso del presente proyecto y las potencias de cada equipo de la tabla 14 del apartado de cálculo de potencia.

Equipo	Potencia	Tiempo (h)	Consumo Kwh
Molino de malta	1,5 kW	1,25	1,875
Breworx Tritank *	6 kW	3	18
Embotelladora	0,37 kW	5	1,85
Tanque agua caliente	1,5 kW	1	1,5
Bomba tanque agua caliente	0,36 kW	0,5	0,18
Generador de vapor	20 KW	2	40
Equipo de frio	4,5 kW	4	18
Etiquetadora	0,2 kW	2	0,4
Bomba centrifuga	0,22 kW	1	0,22
Frigorífico	0,01 KW	240	2,4
Línea alumbrado	0,4 KW	40	16
Línea de enchufes	3,6 kW	20	72
CONSUMO TOTAL			172,425 Kwh

Tabla 21 kWh consumidos

Todos los tiempos son una estimación

- El frigorífico se considera en continuo, por lo que se consideran las 720 horas de un mes entre los 3 lotes.
- La sala de cocción se considera 3 horas pues aunque el tiempo total puede llegar a 4 no estarán todos los equipos en funcionamiento simultáneamente.
- El generador de vapor se considera 2 horas, tiempo suficiente para realizar la cocción y calentamiento del agua del macerado.
- El equipo de frío es intermitente en función de los fermentadores pero se considerará un total de 4 horas.
- Alumbrado se considerará una media de 4 horas diarias entre 3 lotes.
- Línea de enchufes 2 hora diaria entre 3 lotes.

Por tanto el costo de la electricidad según el periodo tarifario 2. para la producción de un lote será

Concepto	Precio/unidad	Unidad	Precio
Potencia contratada	24,437330 Kw/año	31 kW	757,56 €/año
			63,13 €/mes
			21,04 €/lote
Alquiler de equipo medida	0,02663 €/día	30	0,7989/mes
			0,2663/lote
Consumo	0,0112575 €/kWh	172,425 kWh	1,9410 €/lote

Tabla 22 Costo por lote desglosado en conceptos

TOTAL POR LOTE

Potencia		21,04€
Consumo		1,9410€
Impuesto sobre electricidad	5,11269632% s 22,981	1,1749 €
Alquiler equipo		0,2663 €
IVA	21% s 24,4222	5,1286 €
TOTAL		29,55 €

Tabla 23 Costo electricidad total por lote

8.4. Costo total

Resumiendo todos los conceptos calculados anteriormente para la producción de un lote

CONCEPTO	€/LOTE
MATERIAS PRIMAS	430,79 €
ENVASADO	360 €
AGUA	17,36 €
ELECTRICIDAD	29,55 €
TOTAL	837,69 €

Tabla 24

El costo por tanto para un litro de cerveza en materia prima, agua y electricidad será: 0,83769 €/L

9. NORMATIVA

A continuación se detalla de manera simplificada el marco legal básico al que está sujeto la industria de producción de cerveza. Desde su fabricación hasta su comercialización.

Normativa aplicable a la cerveza en cuanto a producto (Norma de calidad):

Real Decreto 678/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad de la cerveza y de las bebidas de malta. El presente decreto actualiza su contenido a la realidad actual del mercado y deroga el Real Decreto 53/1995, de 20 de enero, y la Orden de 15 de octubre de 1985, con el fin de mejorar la seguridad jurídica, garantizar la leal competencia entre las industrias, dotar de las mismas condiciones a todos los productores, mejorar la competitividad del sector y proporcionar una información adecuada al consumidor que facilite su derecho a la elección de compra.

Normativa aplicable al etiquetado de la cerveza:

El Reglamento (UE) Nº 1169/2011 de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor establece los principios generales, los requisitos y las responsabilidades que rigen la información alimentaria y, en particular, el etiquetado de los alimentos. Se aplica a los operadores de empresas alimentarias en todas las fases de la cadena alimentaria, en caso de que sus actividades conciernen a la información alimentaria facilitada al consumidor.

La cerveza, como producto alimenticio, está sujeta a las disposiciones de este Reglamento, con las particularidades que se establecen en su propia norma de calidad.

Normativa sobre los impuestos especiales que gravan la cerveza

La sujeción de la cerveza a la ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales (BOE nº 312, de 29 de diciembre de 1992), responde a la armonización de estos impuestos a escala comunitaria, configurándose como impuestos indirectos que recaen sobre el consumo de determinados bienes, gravando su fabricación o su importación. La repercusión obligatoria del impuesto produce el efecto de que el gravamen sea soportado por el consumidor, además de lo que lo hace el IVA en su condición de impuesto general (al tipo del 21% para la cerveza).

El establece las condiciones detalladas de aplicación de la Ley en forma de Reglamento (BOE nº 179, de 28 de julio de 1995), habiendo sido modificado por Real Decreto 112/1998, de 30 de enero (BOE nº 27, de 31 de enero de 1998), por Real Decreto 1965/1999, de 23 de diciembre (BOE nº 312, de 30 de diciembre de 1999) y por Real Decreto 1739/2003, de 19 de diciembre (BOE nº11, de 13 de enero de 2004).

Los tipos impositivos se actualizan mediante la Ley General de Presupuestos del Estado

Normativa referente a los envases de cerveza.

Los envases de cerveza se encuentran sujetos a las siguientes normas:

- Real Decreto 1801/2008, de 3 de noviembre (BOE nº 266/2008). Por el que se establecen normas relativas a las cantidades nominales para productos envasados y al control de su contenido efectivo.
- Real Decreto 703/1988, de 1 de julio (BOE nº 172/1988). Por el que se establecen características de las botellas como recipientes.
- Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases.

Normativa medioambiental (IPPC)

La industria cervecera se encuentra sujeta al cumplimiento de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (BOE nº 157, de 2 de julio de 2002), que articula un procedimiento para la concesión de las autorizaciones ambientales integradas para las instalaciones industriales sujetas a la misma.

Normativa relativa a seguridad e higiene

Reglamento UE nº 178/2002, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, establece los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y fija procedimientos relativos a la seguridad alimentaria (Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 31, de 1 de febrero de 2002).

Dicho Reglamento se basa sobre dos pilares de extraordinaria importancia: el análisis de riesgos y la trazabilidad. Es de aplicación, además, desde el 1 de enero de 2006, el Reglamento UE nº 853/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios.

10. BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEB CONSULTADAS

10.1. Bibliografía consultada

- [1] “Brewing: Science and Practice”, Dennis E. Briggs, Chris A. Boulton, Peter A. Brookes, Taylor & Francis, 19 oct. 2004
- [2] “Tecnología para Cerveceros y Malteros”, Wolfgang Kunze - Ed. VLB Berlín, 2006.
- [3] “The Brewmaster's Bible: The Gold Standard for Home Brewers”, Stephen Snyder, ED. William Morrow Cookbooks; 1st edition (May 9, 1997).
- [4] “La cerveza”, S. Huxley, Ed. Trea, 2011.
- [5] “Guía de mejores técnicas disponibles es España del sector cervecero”, Ministerio de medio ambiente, Edita: Centro de Publicaciones, Secretaria general técnica Ministerio de Medio Ambiente, 2005
- [6] “Nuevo manual de industrias alimentarias”, Antonio Madrid Vicente, EMV Ediciones, 2013.

10.2. Páginas web consultadas:

- [7] <https://www.brewersassociation.org>
- [8] <http://www.gecan.info>
- [9] <https://www.alimarket.es/alimentacion/informe/217243/informe-2016-del-segmento-de-cervezas-artesanas>
- [10] www.elmundo.es
- [11] <https://www.brewersfriend.com>
- [12] www.revistamash.com
- [13] www.cervezartesana.es
- [14] www.cerveceros.org
- [15] <http://elsecretodelacerveza.com>
- [16] <http://cervecearte.com>
- [17] <http://cerveceros-caseros.com>
- [18] <http://brewmasters.com.mx>
- [19] <http://www.realbeer.com>
- [20] <http://eficrea.com>

- [21] <http://www.cervezadeargentina.com.ar>
- [22] <https://upcommons.upc.edu>
- [23] <http://libros.redsauce.net>
- [20] <http://www.sacome.com/documentacion-tecnica-technical-documentation/calculo-termico-thermal-calculation/>

II - PLANOS



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA
EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES



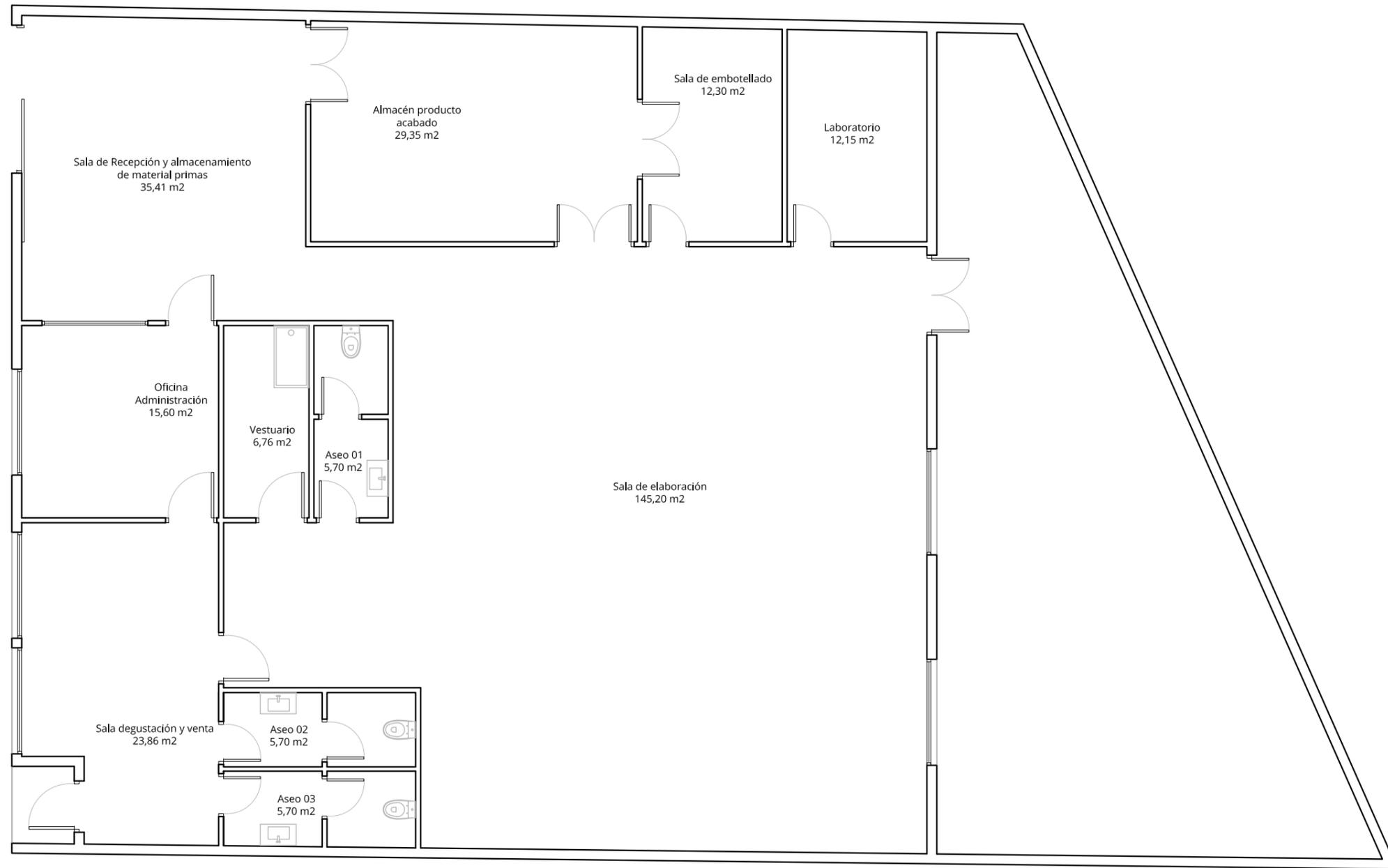
Proyecto:
**DISEÑO DE UNA MICROPLANTA PARA LA
ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL A
PARTIR DE MALTA**

Fecha: Escala:

Plano: Nº Plano:

Situación.

Enrique Megia Carrasco
Autor proyecto



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA
EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Enrique Megia Carrasco
Autor proyecto

Proyecto:

DISEÑO DE UNA MICROPLANTA PARA LA
ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL A
PARTIR DE MALTA

Fecha:

Julio 2017

Escala:

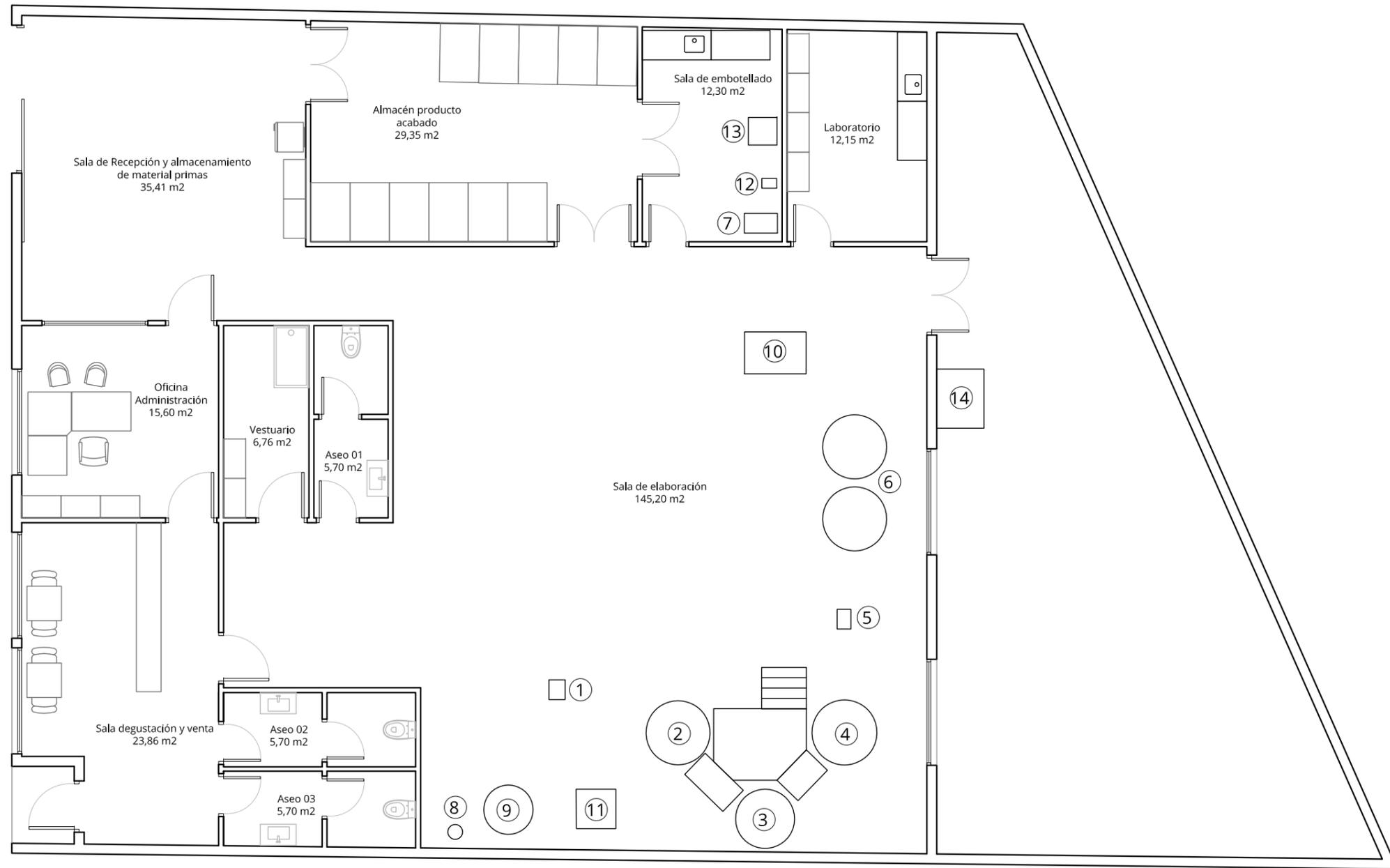
1/100

Plano:

Planta
Distribución.

Nº Plano:

02



LEYENDA	
1	Molino
2	Cuba macerado/cocción
3	Cuba de filtrado
4	Cuba Whirpool
5	Intercambiador placas
6	Fermentadores
7	Embotelladora
8	Filtro de carbón activo
9	Tanque de agua caliente
10	Tanque de agua fría
11	Generador de vapor
12	Tapadora de botellas
13	Etiquetadora
14	Equipo de frío

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA
EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Enrique Megia Carrasco
Autor proyecto

Proyecto:

DISEÑO DE UNA MICROPLANTA PARA LA
ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL A
PARTIR DE MALTA

Fecha:

Julio 2017

Escala:

1/100

Plano:

Planta
Equipamiento.

Nº Plano:

03

III - PRESUPUESTO

ÍNDICE PRESUPUESTO

CUADRO DESGLOSE PARTIDAS	3
PARTIDA 1 – ALMACENAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	3
PARTIDA 2 – MOLTURADO, MACERACIÓN, COCCIÓN Y CENTRIFUGADO	4
PARTIDA 3 – EQUIPOS TÉRMICOS: ENFRIAMIENTO Y AGUA CALIENTE.....	5
PARTIDA 4 – FERMENTACIÓN.....	6
PARTIDA 5 – EMBOTELLADO	6
PARTIDA 6 – LABORATORIO	7
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM).....	8
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	8
PRESUPUESTO GENERAL	9

CUADRO DESGLOSE PARTIDAS

En el presente documento se estimará los costes del instrumental de laboratorio, maquinaria e instalación necesarios para el proceso de elaboración de cerveza artesanal, que se describe en la memoria de este mismo TFG "Diseño de una microplanta para la elaboración de cerveza artesanal a partir de malta". Quedarán pues excluidos del presupuesto todas las partidas que no son objeto del proyecto.

Todas las partidas a continuación desglosadas, incluyen el suministro y mano de obra de instalación de los equipos y material de montaje e interconexión.

PARTIDA 1 – ALMACENAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

Código	Concepto	Unidades	Precio/unidad	Total
1	Filtro de carbón activo Presión de trabajo 2-6 Bar, Caudal de trabajo: 1,1 m ³ /h.	1	755,70€	755,70€
2	Frigorífico LAGAN Consumo 136 kWh/año., Capacidad del congelador: 97L. Líquido congelante: R600a, Capacidad de congelación: 2 kg/24 horas, Voltaje: 230V.	1	139,6€	139,6€
3	Balanza para colgar PCE- CS 300 Rango de pesaje: 300 kg, Capacidad de lectura: 0,1 kg, Peso mínimo a indicar: 2 kg, digital	1	66,0€	66,0€
4	Báscula de precisión Baxtan, Capacidad 1000g. fracción 0,001g 128x128mm	1	117,35€	117,35€
Total partida				1.078,65€

PARTIDA 2 – MOLTURADO, MACERACIÓN, COCCIÓN Y CENTRIFUGADO

Al escoger el sistema **Breworx Tritank 1000**, se desglosarán los elementos que lo componen, pero solo se introducirá precio total del sistema.

Código	Concepto	Unidades	Precio/unidad	Total
5	Molino de Malta Maltman® 150 150/200 kg/h Tamaño molturado 0.2,6mm, 1,5kw (230V)	1	2.130,0 €	2.130,0 €
6	Sala de cocción Breworx Tritank 1000 Diseño exterior de acero inoxidable, Sistema de calefacción por vapor, Sistema de control automático	1	90.256,0 €	90.256,0 €
	Cuba de maceración y cocción 1990 l, Dimensiones Ø 1 300 mm, altura 1 500 mm, Agitador de cuatro brazos, Iluminación y sistema giratorio sanitario	1		
	Cuba de filtrado 1368 litros, Ø 1320 mm, altura 1200 mm, Filtro de 6 segmentos con 12% de permeabilidad, Agitador 2 brazos, 8 cuchillas, Potencia de entrada 2 200 W, Iluminación 12V 35W, Sistema giratorio sanitario DN 20, Compuerta de descarga de grano 420x540 mm	1		
	Cuba whirlpool 1356 litros, Ø 1200 mm, altura 1200 mm, Ducha giratoria sanitaria DN 20, Boquilla tangencial DN 20, Indicador de nivel DN 20, Válvula de fermentación 2x DN 25 Revestimiento exterior acero inoxidable 1 mm	1		
	Bomba de extracción y fermentación DWO 150 Ebara Potencia de entrada 1,5 W H máx. 2,2 bar	1		
Total Partida				92.386,0 €

PARTIDA 3 – EQUIPOS TÉRMICOS: ENFRIAMIENTO Y AGUA CALIENTE.

Código	Concepto	Unidades	Precio/unidad	Total
7	Intercambiador placas/aireador Block wort cooler-aeration system.	1	3.776,0 €	3.776,0 €
8	Depósito de agua caliente HWT-1000, 1100 L, Ø 1000 mm, calor mediante vapor externo, unidad de bombeo 360W, Bomba para agua 95 ° C 360 W, 230 V	1	6.445,0 €	6.445,0 €
9	Tanque de agua helada ICWT-1000, Czech brewery system. 1000 l, AISI 304 , Temperatura de funcionamiento 85 a -15 ° C, 2 Bombas de circulación Wilo Yonos PICO 25 / 1-6 230V 180mm	1	3.692,0 €	3.692,0 €
10	Generador de vapor ESG-60MWT eléctrico 20 kW - 60 kg vc/h por hora Presión de trabajo y Temperatura de vapor máx. 6 bar / 155 ° C, Bomba de alta temperatura	1	9.567,0 €	9.567,0 €
11	Unidad refrigerador-condensador con intercambiador de calor de placa GCU-25, 4.5 kW. Refrigerante: R404A , 3.5 litros Capacidad de refrigeración 30/4 ° C - 4500 W, 470 l/h.	1	3.061,0 €	3.061,0 €
Total Partida				26.541,0 €

PARTIDA 4 – FERMENTACIÓN

Código	Concepto	Unidades	Precio/unidad	Total
12	Fermentador/madurador cilíndrico-cónico CCT-1000C de Czech breweris V. efectivo, 1000 litros, Acero AISI 304, Carcasa doble de acero inoxidable, 3,0 bar.	2	9.822,0 €	19.644,0 €
13	Escalera acceso fermentador	2	267,0 €	534,0 €
Total partida				20.178,0 €

PARTIDA 5 – EMBOTELLADO

Código	Concepto	Unidades	Precio/unidad	Total
14	Embotelladora BFSA2-200 Semi-automática. 150-200 l/h, 0,37kw , monofásica, botellas Ø max .120mm h max 350mm	1	17.358,0 €	17.358,0 €
15	Tapadora de botellas CRW-M1 Manual 300-400 botellas/hora	1	995,0 €	995,0 €
16	Etiquetadora semiautomática con sensor on/off 500- 900 botellas/hora, 0,2 kW, eléctrica 230V 50/60Hz	1	2.175,0 €	2.175,0 €
17	Bomba centrífuga PP-22 220W / 230V50Hz Max. Caudal 1,7 m3 / h, Max. Presión de trabajo 6.0 Bar	1	490,0 €	490,0 €
18	Banco de trabajo acero inoxidable. Tirante central, 1200x750	1	559,0 €	559,0 €
Total partida				21.577 ,0 €

PARTIDA 6 – LABORATORIO

Código	Concepto	Unidades	Precio/unidad	Total
19	Refractómetro Rango de medición: 0-32% Brix/Escala de Gravedad Específica(Densidad)1000-1120	1	55,02 €	55,02 €
20	PH-metro digital PCE-PH 22	1	69,90 €	69,90 €
21	Termómetro químico de varilla de vidrio de alcohol tintado, rango -10°C a 100°C, divisiones de °C	1	6,20 €	6,20 €
22	Vaso de precipitado de 400 ml, graduado, de vidrio borosilicato con pico	5	5,37 €	26,85 €
23	Matraz Erlenmeyer 500 ml, graduado, resistente al calor	5	6,52 €	32,6 €
24	Pipeta graduada de 5 ml, divisiones de 0,05 ml, de cristal.	5	3,59 €	17,95 €
25	Bomba de pipeta 5 ml	2	8,17 €	16,34 €
26	Banco de acero inox. con fregadero 1400x850x600	1	670 €	670 €
Total partida				894,86 €

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

Correspondiente a la suma de todas las partidas desglosadas anteriormente, relacionado con el coste bruto de adquisición de los equipos necesarios para la plata.

CUADRO DESGLOSE PARTIDAS	PRECIO TOTAL
Almacenamiento y acondicionamiento materias primas	1.078,65 €
Molturado, maceración, cocción y centrifugado	92.386,0 €
Equipos térmicos: enfriamiento y agua caliente.	26.541,0 €
Fermentación	20.178,0 €
Embotellado	21.577,0 €
Laboratorio	894,86 €
PEM	162.655,51 €

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

Se debe aplicar al PEM los honorarios del contratista (6%) y gastos generales (13%) además del IVA(21%)

PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA	PRECIO TOTAL
PEM	162.655,51 €
Beneficio industrial (6%)	9.759,33 €
Gastos generales (13%)	21.145,21 €
IVA (21%)	34.154,65 €
PEC	227.714,7 €

PRESUPUESTO GENERAL

Se añadirán los honorarios del ingeniero (4%PEM) y el IVA del coste de ingeniería.

PRESUPUESTO GENERAL	PRECIO TOTAL
PEC	227.714,7 €
Honorarios ingeniería (4%)	6.506,22€
IVA ingeniería (21%)	1.366,30 €
PRESUPUESTO GENERAL	235587,22 €