

TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL CERVECERA

DOCUMENTO 1:

MEMORIA

Autor:

Víctor Manuel Roldán Crespo

Tutor:

Francisco Carrillo de la Fuente

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Origen de la cerveza y su historia.

La cerveza se define como una bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo, hecha con granos germinados de cebada u otros cereales fermentados en agua, y aromatizada a menudo con lúpulo, entre otras plantas [1].

El ser humano comenzó a cultivar cereales entre el milenio XI a.C. y el VII a.C. en la zona de Mesopotamia. Por tanto, se cree que tanto el pan como la cerveza fueron descubiertas al mismo tiempo. Sólo era una cuestión de proporciones: si se ponía más harina que agua y se dejaba fermentar, se obtenía pan; si se invertían las proporciones añadiendo más agua que harina, se conseguía cerveza.

Los historiadores datan a la cerveza entre el año 10.000 a.C. y 6.000 a.C. y se cree que fue elaborada por antiguos pueblos como los elamitas, egipcios y sumerios [2]. Los restos arqueológicos más antiguos de producción de cerveza en Europa fueron descubiertos en 1999 en el yacimiento de la Cova de Can Sadurní en Begas (Barcelona, España) y pertenecían al neolítico (5.500 a.C. – 4.000 a.C.) [3].

1.2. Elaboración de cerveza y sus tipos.

La elaboración actual de la cerveza difiere considerablemente respecto a la cerveza que se producía en la antigüedad.

Hoy en día se utilizan 5 ingredientes principalmente:

- Agua.
- Malta.
- Adjuntos.
- Lúpulo.
- Levadura.

Cada uno de estos componentes son primordiales para elaborar una cerveza óptima y de calidad, posteriormente se explicará detalladamente la influencia de cada uno de ellos sobre el sabor, el olor y la apariencia de la cerveza.

La fabricación de la cerveza consta de ocho pasos fundamentalmente [4]:

1º- Germinación o malteado del cereal: Proceso de remojo del grano para comenzar la activación de enzimas que convierten el almidón en azúcar.

2º- Secado y tostado del grano: Eliminación de toda el agua posible y del germen que pueda quedar en el grano.

3º- Molienda: Trituración del grano para que las enzimas tengan una buena liberación y la humedad sea lo más homogénea posible.

4º- Maceración: Obtención del mosto a partir de la malta y los adjuntos, que han disuelto azúcares, aminoácidos y proteínas en el agua para que sirva de caldo de cultivo para la levadura.

5º- Filtración: Proceso de eliminación de la turbidez del mosto separando las partículas en suspensión que puedan quedar.

6º- Cocción: Proceso de esterilización del mosto para que la levadura se desarrolle en un medio aséptico y adición del lúpulo para la obtención de aromas y del amargor.

7º- Fermentación: Proceso en el cual la levadura transforma los azúcares del mosto en etanol y dióxido de carbono.

8º- Terminación: Conjunto de procesos destinados a la caracterización de la cerveza, entre los que destacan la maduración, la filtración, la carbonatación, la clarificación y el envasado.

Posteriormente se desarrollará individualmente cada proceso y se detallarán los procesos intermedios.

Los tipos de cerveza se clasifican en función de los dos siguientes criterios [5]:

- En función de su extracto primitivo seco (E.S.P.): Es el conjunto de ingredientes orgánicos que componen el mosto antes de la fermentación, con excepción del agua. Su cantidad es expresada en gramos de ESP por cada 100 gramos de mosto.

- Cervezas sin alcohol: E.S.P. variable, entre 2 y 4.
- Cervezas tradicionales: E.S.P. no inferior a 11.
- Cervezas especiales: E.S.P. no inferior a 13.
- Cervezas especiales extra: E.S.P. no inferior a 15.

- En función del tipo de fermentación:

- Cervezas de baja fermentación o lager: Son cervezas, generalmente, ligeras y rubias que fermentan a temperaturas bajas (0°C a 4°C) y se encuentran poco tostadas.
- Cervezas de alta fermentación o ale: Estas cervezas fermentan a una temperatura más alta que las anteriores (24°C máximo) y en general son de tonalidades oscuras.

1.3. Mercado cervecero español y evolución de las micro-cervecerías.

El mercado cervecero español es uno de los sectores más importantes para España, no sólo por el número de puestos de empleo que genera al año, sino también por ser una gran fuente de ingresos a la economía española.

Existen dos factores fundamentales que han contribuido a que el sector cervecero español siga en aumento año tras año. En primer lugar, el gran número de turistas que visitan España gracias al clima tan privilegiado que caracteriza este país. En segundo lugar, la estabilidad fiscal de la cerveza que es un factor decisivo para que este sector siga aportando valor a la economía del país.

A continuación, se recogen las cifras más importantes del sector cervecero en el año 2016:

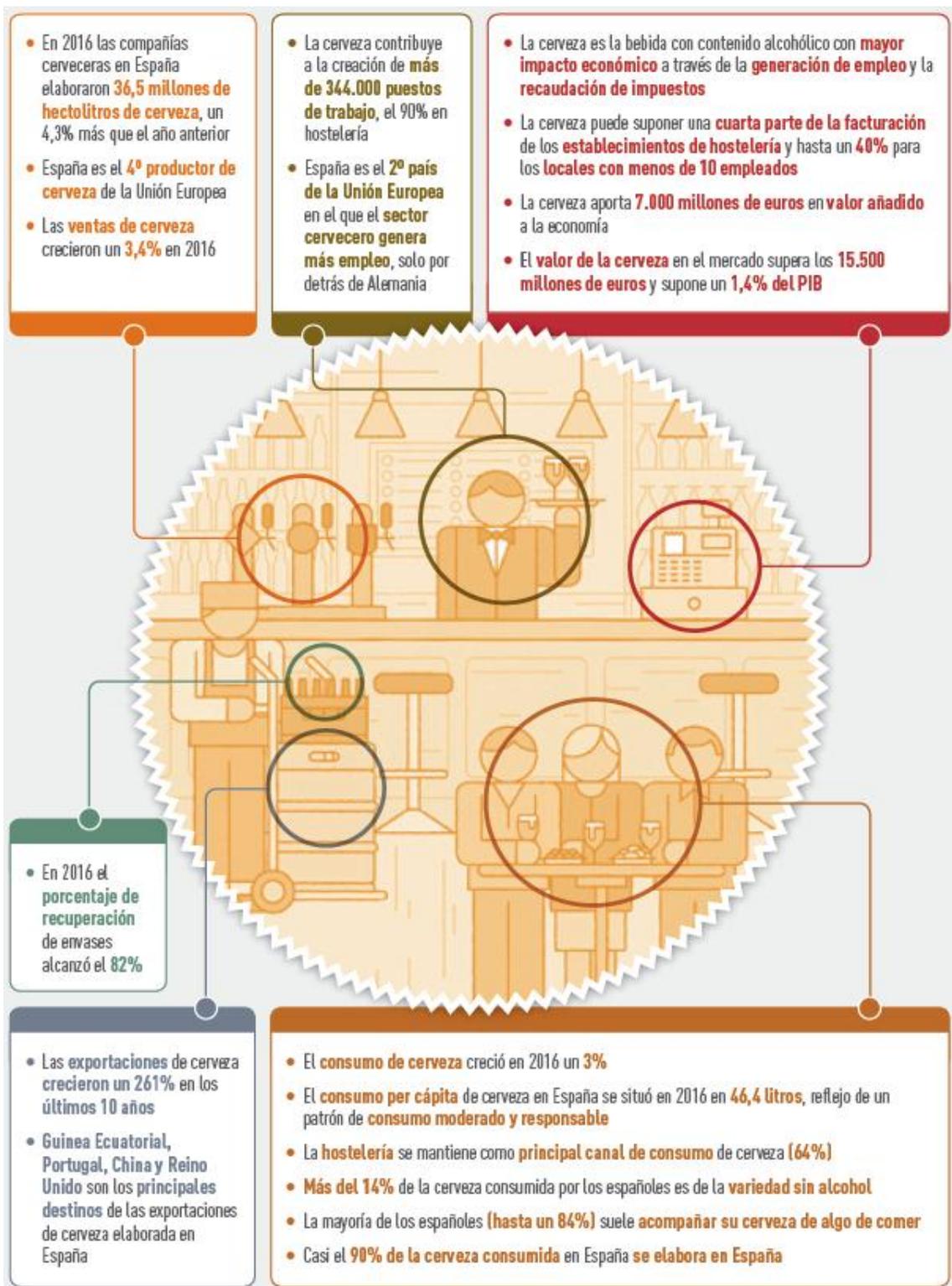


Figura 1: Cifras del sector cervecero español en el año 2016.

Fuente: www.cerveceros.org

En el siguiente gráfico se pueden observar las producciones en hectolitros de las distintas empresas del sector [6]:

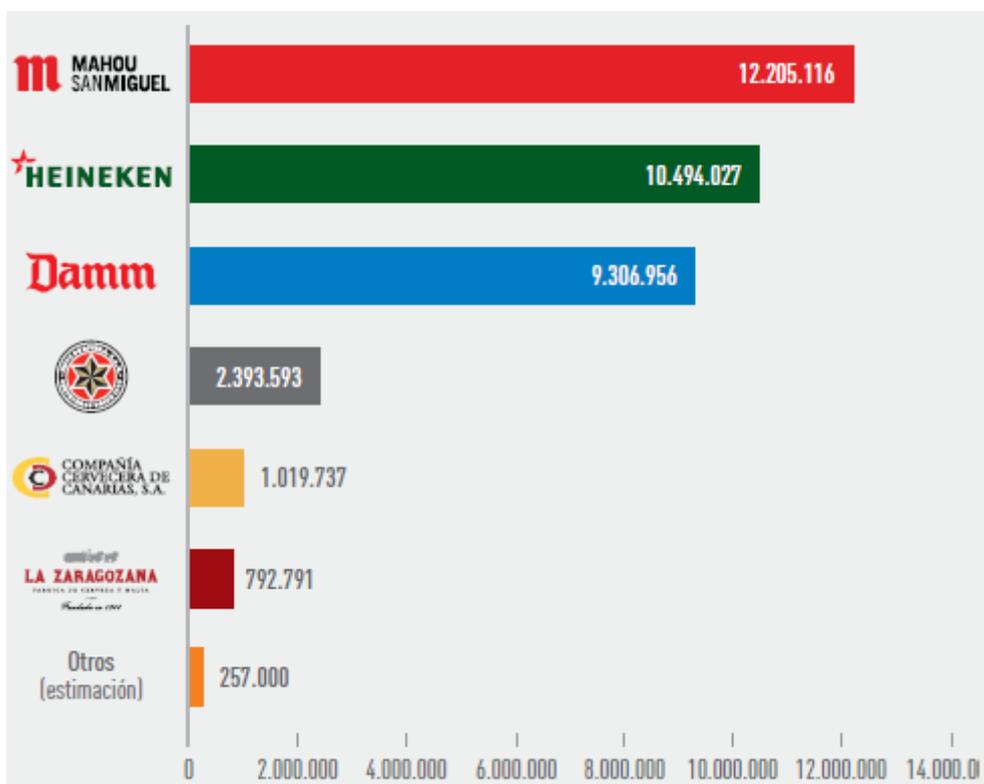


Figura 2: Producción de cerveza en España en 2016 (hL)

Fuente: www.cerveceros.org

Actualmente, no es fácil conseguir introducirse en el mercado cervecero ya que las principales industrias cerveceras (Mahou, Heineken, Damm...) poseen más del 90% de las ventas anuales y sólo el 1,5% de las ventas es producido por las cervecerías artesanales.

No obstante, el mercado cervecero se encuentra en continuo crecimiento desde el año 2013 y cada vez más personas se ven atraídas por las cervezas artesanales. En la actualidad, se pueden encontrar más de 700 empresas registradas dedicadas a la elaboración de cervecería artesanal [7]. En el año 2015 se registraron 361 compañías dedicadas a este sector. Como se puede observar, el aumento de las empresas que optan por la elaboración de cerveza artesana ha aumentado en dos años un 200%. Esto es debido a que los clientes están comenzando a apostar más por la calidad que por la cantidad, y encuentran en la cerveza artesanal un producto más cuidado y perfeccionado que el que pueden encontrar en las grandes industrias cerveceras.

Evidentemente, el objetivo de las cervecerías artesanales no es desbancar del sector a las grandes cervezas de cada región, sino adentrarse en el mundo “gourmet” y selecto de las bebidas fermentadas, y así poder encontrar al consumidor adecuado que esté dispuesto a pagar un precio un poco más alto de lo habitual por estas cervezas al igual que lo hace con el vino.

1.4. Recepción de la materia prima y preparación.

Como se ha comentado anteriormente, para la fabricación de cerveza son necesarios cinco componentes principales: agua, malta, adjuntos, lúpulo y levadura. A continuación, se detallan sus características y su importancia en el proceso.

1.4.1 Agua.

El agua es la materia prima que se usa en mayor proporción para la elaboración de cerveza. Se usa tanto en la producción del mosto como en la limpieza y enjuague de los equipos.

El consumo medio de agua para la fabricación de 1L de cerveza es de 5L. Sin embargo, la huella hídrica del proceso es significativamente mayor, por tanto, es muy importante conseguir disminuir el consumo de agua tanto como sea posible ya que las micro-plantas cerveceras no poseen plantas depuradoras de agua. De esta manera, se conseguirá un menor impacto ambiental y un ahorro económico sustancial.

La calidad del agua utilizada en el proceso es primordial para que el sabor de la cerveza sea el esperado. Por tanto, es necesario asegurar que los iones disueltos en el agua se encuentren dentro de los rangos óptimos.

1.4.1.1. Iones disueltos en el agua y pH.

A continuación, se detalla la influencia de los iones más relevantes que intervienen en la elaboración de cerveza [8]:

- Calcio (Ca^{2+}): Los iones calcio son los iones principales que determinan la dureza del agua. Estos iones son fundamentales para la levadura, las enzimas y las reacciones proteicas, que ocurren tanto en la maceración como en el proceso de ebullición. Reaccionan con el fosfato en el proceso de maceración produciendo fosfato cálcico y liberando hidrógeno, lo cual producirá una bajada en el pH. Ayudan a eliminar la turbidez del mosto y beneficia la degradación y precipitación de proteínas.

El rango de concentración óptima debe estar comprendido entre 20 y 150 ppm.

- Carbonato (CO_3^{2-}): El carbonato es un ion alcalino que normalmente actúa como solución tampón, manteniendo el pH constante. El agua potable no suele tener concentraciones muy altas de este ion.

Su rango óptimo se encuentra entre 0 y 250 ppm.

- Cloruro (Cl^-): Los iones cloruro, entre 0 y 250 ppm, acentúan el sabor a malta y el dulzor de la cerveza. Pero si se encuentra en valores superiores a 250 ppm pueden otorgar un sabor salado y afectan negativamente a la levadura.
- Magnesio (Mg^{2+}): Los iones magnesio tienen un comportamiento similar a los iones calcio, pero producen una bajada de pH menor cuando reaccionan con el fosfato. El magnesio es un nutriente importante para el metabolismo de la levadura en la descarboxilación del ácido pirúvico a acetaldehído y dióxido de carbono. Niveles por encima de 125 ppm puede producir efectos laxantes y diuréticos.

Su rango óptimo se encuentra entre 0 y 40 ppm.

- Potasio (K^+): Los iones potasio otorgan un sabor salado cuando existen valores de concentración superiores a 500 ppm. No obstante, el agua utilizada debe contener valores inferiores a 10 ppm debido a que el mosto tendrá valores comprendidos entre 300 y 500 ppm, contribuidos por la malta en el proceso de maceración.
- Sodio (Na^+): Los iones sodio, para valores de concentración entre 70 y 150 ppm, acentúa los sabores de la malta y el dulzor. Con valores superiores a 150 ppm otorgan a la cerveza un sabor demasiado salado y áspero.
- Sulfato (SO_4^{2-}): El ion sulfato resalta el amargor de la cerveza, provocando que el sabor sea más seco y tostado. En concentraciones superiores a 400 ppm el sabor amargo que provoca puede ser indeseado.

Se aconseja que su rango esté entre 0 y 250 ppm.

En la siguiente tabla se resumen las concentraciones máximas y mínimas para los iones anteriormente descritos y se compara con las concentraciones de los iones del agua suministrada por Aljarafesa, que será la empresa suministradora de agua a la industria.

Tabla 1. Concentraciones óptimas recomendadas y concentraciones del agua local suministrada.

Ion químicamente activo	Concentraciones óptimas recomendadas (ppm)	Concentraciones del agua suministrada por Aljarafesa (ppm)* [9]
Calcio (Ca²⁺)	20-150	40
Carbonato (CO₃²⁻)	0-250	100
Cloruro (Cl⁻)	0-250	16,2
Magnesio (Mg²⁺)	0-40	24,3
Potasio (K⁺)	0-10	2,2
Sodio (Na⁺)	5-150	10,2
Sulfato (SO₄²⁻)	0-250	15

*Valores medios correspondientes al mes de Julio de 2017.

- pH: El Real Decreto 678/2016, de 16 de diciembre, establece que el pH final de la cerveza debe de ser igual o inferior a 5,5. La bibliografía recomienda que el pH del agua utilizada en el proceso de elaboración de la cerveza mantenga un pH comprendido entre 6,5 y 8,5, este valor es un poco más alto que el que establece el Real Decreto porque, como hemos visto anteriormente, ocurren una serie de reacciones en el proceso de maceración y cocción que disminuirán el pH de la cerveza.

Tabla 2. pH recomendado y pH del agua local suministrada.

pH (recomendado) [8]	pH (Agua suministrada por Aljarafesa)* [9]
6,5-8,5	7,7

*Valor medio correspondiente al mes de Julio de 2017.

Como se puede observar, las concentraciones de los iones químicamente activos y el pH se encuentran dentro de los rangos recomendados por la bibliografía. Además, todos los parámetros están conformes al Real Decreto 140/2003 que establece los criterios sanitarios de calidad del agua para el consumo humano.

1.4.2. Malta.

La malta es un cereal que se encuentra en una etapa temprana de germinación, cuyo proceso ha sido controlado e interrumpido mediante secado del grano. Este proceso es necesario para la transformación del almidón en azúcares que pueda metabolizar la levadura.



Figura 3: Malta de cebada germinada.

Fuente: <http://imagnalia.com/wrp/?p=875>

Para la elaboración de esta cerveza emplearemos malta de cebada, aunque también es común utilizar otros cereales como el maíz, trigo, avena, centeno, etc.

1.4.3. Adjuntos.

Los adjuntos son cereales distintos de la cebada que son agregados para proporcionar una mayor fuente de almidón o azúcares al mosto. Se trata de un ingrediente necesario porque la cebada es un cereal que no contiene niveles altos de almidón.

Se pueden diferenciar dos tipos de adjuntos utilizados en la industria cervecera [10]:

- **Adjuntos amiláceos:** Son ricos en almidón, por lo que deben ser macerados para así transformarlo en azúcares fermentables. Se encuentran en este grupo los cereales como el arroz, el maíz, el trigo y la avena. Pueden suponer el 50% de todo el material fermentable, dependiendo del cereal que se use en cada caso.

El maíz es el adjunto más usado por los cerveceros a nivel mundial debido a su fácil disponibilidad y su capacidad para ofrecer azúcares fermentables muy parecidos al de la malta.

- Adjuntos sacarinos: Están constituidos por una gran variedad de siropes y azúcares. Se emplean en menor porcentaje que los amiláceos, en torno al 10% de todo el material fermentable. Entre los siropes se encuentran la miel, melaza, jarabes de azúcar de caña y de remolacha. También pueden ser de glucosa pura o una mezcla de glucosa y fructosa.

1.4.4. Lúpulo.

El lúpulo (*Humulus lupulus L.*) es una planta herbácea, perenne, trepadora, que puede alcanzar los 5 metros de altura, perteneciente a la familia de las Cannabaceae [11].



Figura 4: Lúpulo (Humulus lupulus L.).

Fuente: <https://cervezartesana.es>

Es el ingrediente que otorga a la cerveza el característico sabor amargo y aroma, gracias a los alfa-ácidos y a sus aceites esenciales. Sirve también como estabilizante de la espuma y como antibacteriano.

1.4.4.1. Química del Lúpulo.

La flor del lúpulo contiene tres grupos de sustancias que son de gran interés para la elaboración de la cerveza: las resinas, los aceites esenciales y los polifenoles [12].

- Resinas: Constituidas por alfa-ácidos (humulonas) y beta-ácidos (lupulonas). Los alfa-ácidos son los componentes más importantes del

lúpulo. A altas temperaturas se transforman en sus formas isoméricas solubles (iso-humulonas), que son las responsables de la acción antibacteriana y otorgan el amargor a la cerveza.

Los beta-ácidos también otorgan cierto amargor, pero son muy susceptibles a la oxidación, esto hace que no sean muy apropiados en la elaboración.

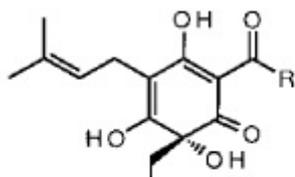


Figura 5: Estructura de los alfa-ácidos.

Fuente: <http://www.brotherwood.cl>

ALPHA-ACIDS

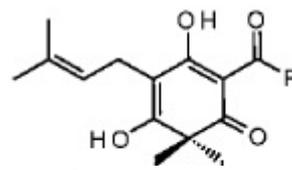


Figura 6: Estructura de los beta-ácidos.

Fuente: <http://www.brotherwood.cl>

BETA-ACIDS

- Aceites esenciales: Se componen de una mezcla aproximada de 300 compuestos volátiles que imparten a la cerveza su carácter aromático. Los más relevantes desde el punto de vista cervecero son el humuleno, el mirceno y el cariofileno, todos pertenecientes al grupo de los terpenos.
- Polifenoles: El principal polifenol del lúpulo es el tanino, que otorga a la cerveza cierta sequedad y amargor. Ejerce además de agente antibacteriano y ayuda a que precipiten las proteínas durante la cocción del mosto, facilitando así la clarificación.

1.4.4.2. Formas del lúpulo comercial.

Actualmente, las grandes industrias cerveceras no usan el lúpulo directamente como flor fresca, si no que adquieren el lúpulo en formas prensadas o envasadas como se verá a continuación [12].

- Flor entera desecada: Las flores son parcialmente deshidratadas con aire caliente a unos 60-65°C durante 10 minutos. Posteriormente se compacta y se envasan al vacío.

- Discos o plugs: Se componen de lúpulo desecado y comprimido en forma de discos o ruedas. Poseen el inconveniente que durante el proceso de compresión las glándulas de lupulina se rompen y su contenido sufre daños por la acción del aire.
- Pellets: Es la forma de lúpulo más utilizada. Consiste en pequeños cilindros de lúpulo desecado y prensado. Esta particular geometría reduce la oxidación, eleva el rendimiento hasta un 15% y permite una dosificación más precisa.
- Extractos: Se presentan en forma líquida y se usan para ajustar o corregir el amargor una vez finalizada la fermentación.

1.4.5. Levadura.

La levadura que produce la cerveza es un hongo microscópico perteneciente al grupo de los ascomicetos (trufas, mohos). Es un organismo unicelular de forma redondeada u ovalada, cuyo diámetro se encuentra entre 5 y 10 micras [13].

En la industria cervecera se pueden encontrar distintos tipos de levaduras dependiendo del tipo de cerveza que se desee elaborar. A continuación, se concretan las dos levaduras más utilizadas en la industria cervecera:

- *Saccharomyces Cerevisiae*: Es un tipo de levadura utilizado en la fabricación de pan, cerveza y vino. Es la más utilizada en la elaboración de cervezas tipo Ale o fermentación alta. Fermentan a temperaturas entre 15 y 25°C y esta fermentación ocurre en la superficie del líquido.
- *Saccharomyces Carlsbergensis*: Es la levadura más utilizada en la producción de cerveza tipo Lager o de fermentación baja. Fermentan a temperaturas bajas y la fermentación ocurre en el fondo del mosto.

Las levaduras, como cualquier microorganismo, dependen de factores que propician o dificultan su desarrollo. Dichos factores determinan que la levadura pueda colonizar con éxito el mosto o, por otro lado, que sean inhibidas por otro organismo. A continuación, se detallan algunos de los factores:

- Tolerancia a la temperatura: En general, las levaduras poseen un rango amplio de temperatura en el cual pueden desarrollarse (entre 0 y 50°C). Sin embargo, la temperatura óptima de fermentación se encuentra entre 15 y 25°C
- Tolerancia osmótica: Son capaces de soportar concentraciones altas de azúcar hasta un 40%.

- Tolerancia al alcohol: Es una de las características más importante y útil del género *Saccharomyces*. El etanol es un producto de desecho provocado por la respiración anaeróbica de la levadura, y como tal, inhibe el desarrollo de la población. No obstante, este tipo de levadura puede soportar concentraciones de alcohol hasta un 12%.
- Potencial de hidrógeno o pH: Las levaduras se desarrollan perfectamente en valores de pH bajos al ser ácido-tolerantes.
- Requerimiento de oxígeno: En presencia de oxígeno (respiración aeróbica) las levaduras realizan una degradación completa del azúcar, obteniendo productos como el dióxido de carbono y agua. Cuando la respiración es anaeróbica (sin presencia de oxígeno), efectúan una respiración incompleta, dando productos como etanol y dióxido de carbono. Esta característica hace que sea un microorganismo completamente adaptativo. Es primordial el control de la respiración anaeróbica en la cerveza, puesto que este proceso determina la graduación alcohólica del producto.
- Requerimiento de nutrientes: El género *Saccharomyces* requiere medios muy ricos en azúcares y puede fermentar muchos de ellos. Específicamente, la obtención de alcohol es posible a partir de glucosa, fructosa, sacarosa (glucosa+fructosa) y maltosa (glucosa+glucosa). No obstante, otros azúcares como la lactosa, pentosas o dextrinas son incapaces de ser sintetizados por la levadura. Debido a esto, es necesario el proceso de germinación donde las cadenas de azúcares más largas son degradadas en azúcares más sencillos.

Posteriormente, se hablará del metabolismo de la levadura y sus distintas fases de propagación.

1.5. Fabricación de la malta de cebada.

La fabricación de la malta de cebada consta de cinco procesos fundamentales a través de los cuales se obtiene el cereal germinado y listo para la elaboración del mosto. A continuación, se describen estos procesos.

1.5.1. Limpieza y almacenamiento del cereal.

En primer lugar, es necesario realizar una limpieza de los granos para eliminar elementos extraños tales como pequeñas piedras, tierra o semillas de otros cereales. Por ello, es de suma importancia eliminar todos estos contaminantes antes de proceder al remojo del cereal [14].

Existen varios procedimientos que permiten separar las impurezas:

-Cribas: Permiten separar piedras, tierra o granos de otros cereales basándose en diferencias de tamaño y forma.

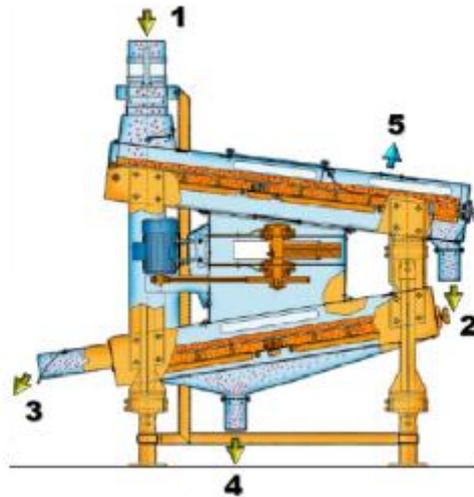


Figura 5: Sistema de cribado para limpieza del cereal.

Fuente: <http://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TC/mat.pdf>

Figura 5: (1) Entrada del producto, (2) Salida de partículas gruesas, (3) Salida del cereal, (4) Salida de partículas finas, (5) Salida del aire.

-Separadores por peso específico: Permite separar piedras y fragmentos de vidrio o plástico basándose en su diferente densidad.

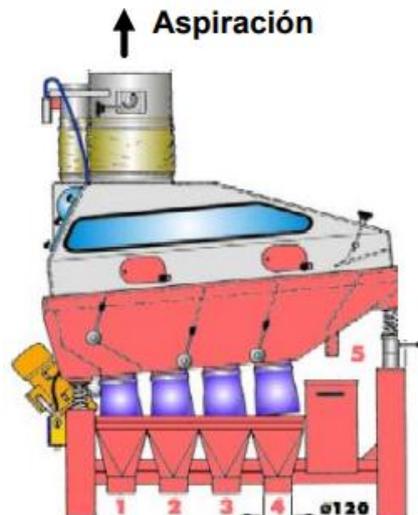


Figura 6: Separador por peso específico.

Fuente: <http://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TC/mat.pdf>

-Separadores mediante corriente de aire: Aprovechan la facilidad de arrastre de las partículas más pequeñas y ligeras en una corriente de aire. Son útiles para la separación de polvo, granos rotos, cáscaras, etc.

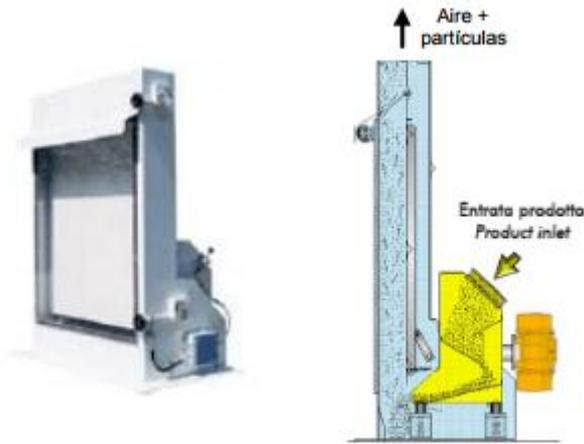


Figura 7: Separador mediante corriente de aire.

Fuente: <http://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TC/mat.pdf>

-Separadores magnéticos: Establecen un campo magnético alrededor de la conducción por donde circulan los granos de cereal. Estos equipos son idóneos para la separación de metales.



Figura 8: Separador magnético.

Fuente: <http://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TC/mat.pdf>

Una vez se han limpiado y eliminado las posibles impurezas existentes en el cereal, se procede al almacenamiento del mismo. Hay que tener en cuenta que durante el almacenamiento la cebada no debe perder su poder germinativo por lo que resulta imprescindible almacenarla a una temperatura inferior de 15°C y a una humedad menor del 15% [15].

1.5.2. Remojo.

El remojo tiene una doble finalidad, persigue por un lado la limpieza del grano del posible polvo que pueda retener y, por otro, el comienzo de la germinación.

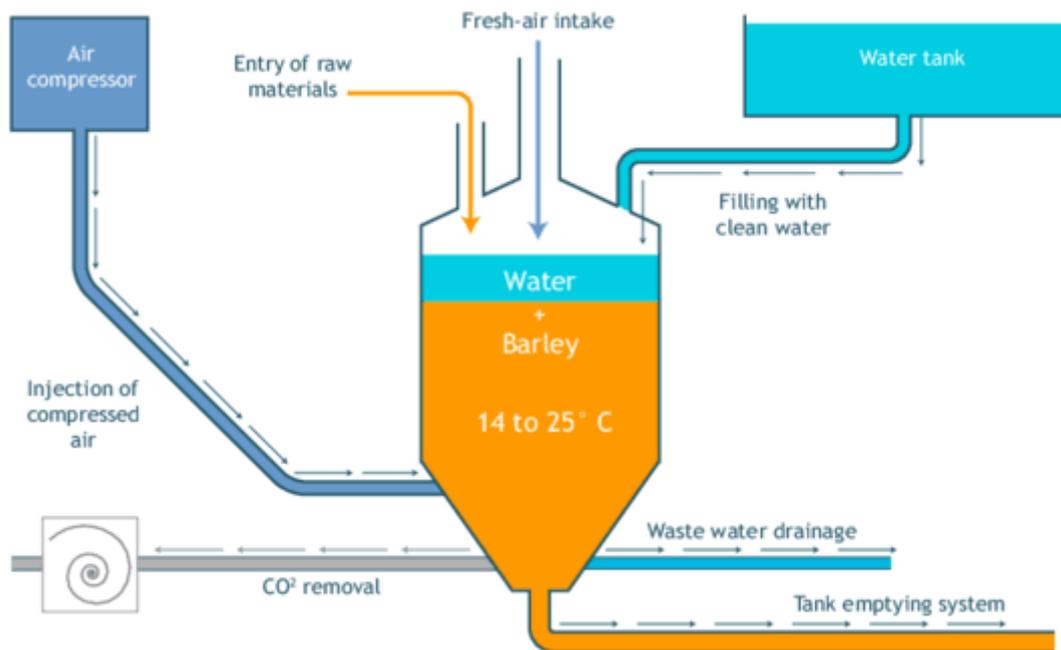


Figura 9: Proceso de remojo de la malta de cebada.

Fuente: <https://es.malteurop.com/>

Para que la germinación comience correctamente, la humedad del grano debe aumentar hasta un 45% aproximadamente y debe mantenerse una temperatura entre 15 y 20°C para evitar la aparición de posibles microorganismos indeseados. Estas condiciones deben mantenerse durante 2 o 3 días, según el tipo de grano escogido.

Las cebadas especialmente sucias pueden someterse a un remojo de 45-50°C durante un corto período, para después emplear agua fría.

Los procesos bioquímicos de la malta empiezan a producirse en cuanto aumenta la humedad del grano. La respiración consume el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, por tanto, es necesario la aireación continua del agua desde la parte inferior del tanque, evitando que se produzca una emisión de anhídrido carbónico causada por una respiración anaeróbica [16].

1.5.3. Germinación.

Una vez concluida la etapa de remojo, los granos son extendidos en capas sobre una plataforma perforada donde germinarán. El grano es ventilado continuamente con aire acondicionado a una temperatura y humedad tal que permita su respiración. Después de 3 a 6 días, en los que el grano se ha mezclado con regularidad y regado eventualmente, las radículas o germen que se han desarrollado aparecen marchitas, es la denominada malta verde [17].

La germinación es un proceso necesario en la elaboración de cerveza. En primer lugar, el embrión comienza a segregar diversas enzimas como la proteasa y la amilasa, esta última es la responsable de la rotura del almidón en azúcares más simples (glucosa, sacarosa y maltosa) y, por tanto, fermentables. Esta hidrólisis enzimática proporcionará energía a la planta para que lleve a cabo su crecimiento. [18]. A continuación, se muestra un diagrama del proceso de germinación.

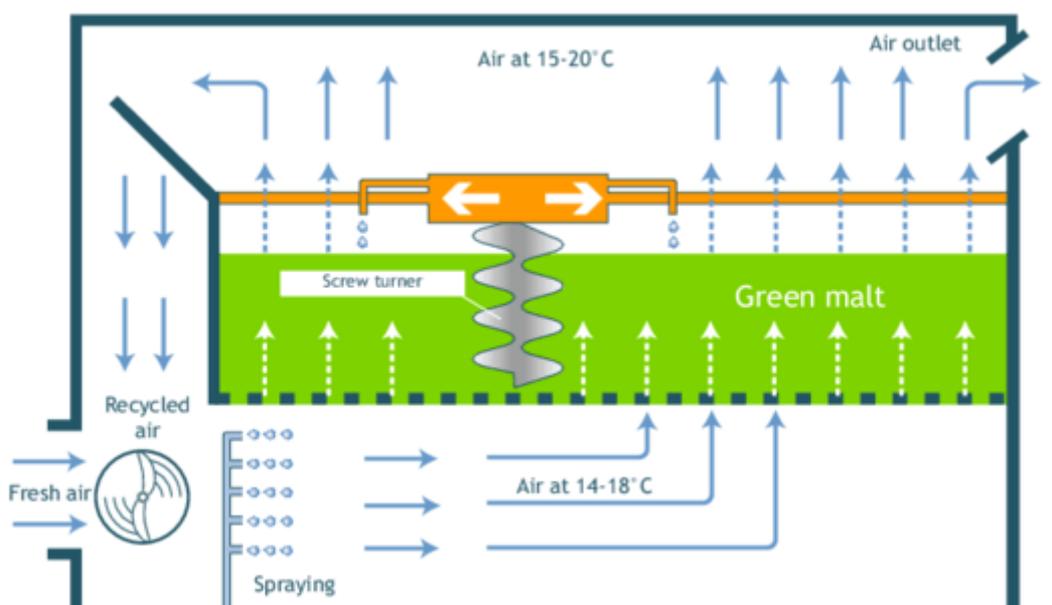


Figura 10: Proceso de germinación de la malta de cebada.

Fuente: Fuente: <https://es.malteurop.com/>

1.5.4. Secado y tostado.

En esta etapa se insufla aire caliente a la malta de cebada germinada. En primer lugar, el aumento de temperatura provocará una aceleración de las reacciones bioquímicas y, por tanto, será necesario disminuir la humedad del aire impulsado para que poco a poco cese toda la actividad enzimática. Cuando el contenido acuoso disminuye hasta un 10% aproximadamente, la temperatura de cocción se aumentará hasta 75-80°C durante cinco horas si se desea una malta amarilla.

Por otro lado, si se desea una malta negra, se aumentará la temperatura a unos 100°C durante 1 o 2 horas más para favorecer el pardeamiento no enzimático (Reacción de Maillard) con la siguiente formación de melanoidinas, que son las moléculas (hidrato de carbono + aminoácido) que otorgan el aroma y sabor característico de la cerveza negra [19] [20]. En la siguiente imagen se muestra el proceso descrito.

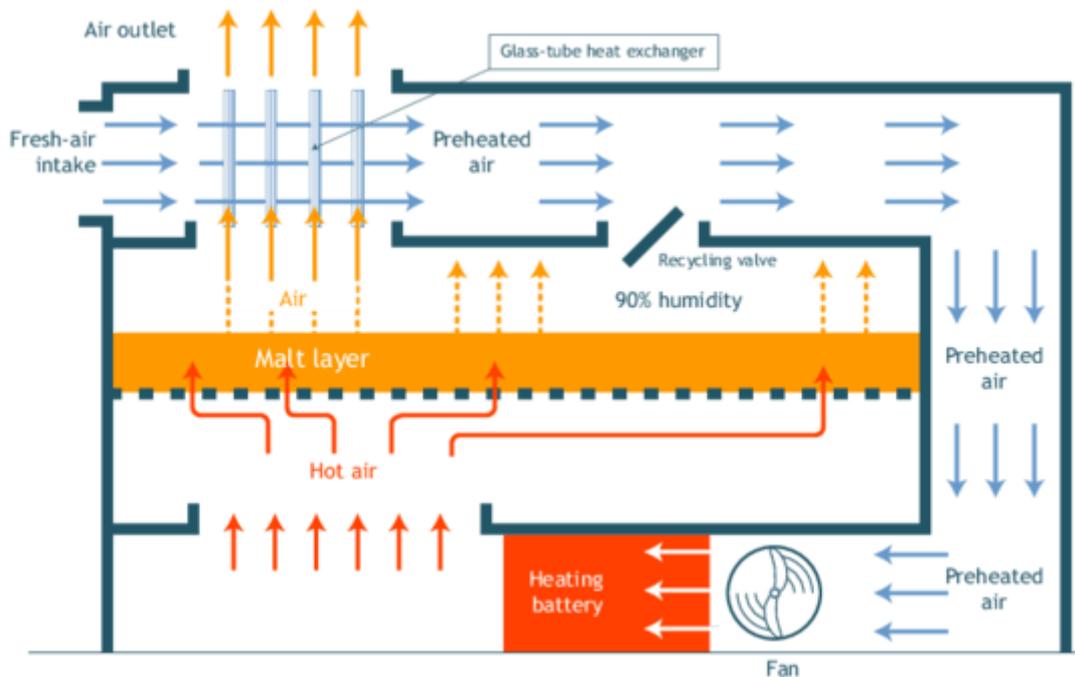


Figura 11: Proceso de secado y tostado de la malta de cebada.

Fuente: <https://es.malteurop.com/>

1.5.5. Eliminación del germen y almacenamiento de la malta de cebada.

Por último, en esta etapa, se retiran las radículas formadas en el proceso de germinación, haciendo pasar el grano por plataformas vibratorias. Estas raicillas se desprenderán del grano con facilidad cuando se encuentre seco. Además, las raicillas desechadas se pueden vender como subproducto como alimento para el sector ganadero.

Una vez concluida la eliminación del germen, la malta de cebada se almacenará durante meses si se cumplen las condiciones de almacenamiento y limpieza [21].

1.6. Producción del mosto.

La producción del mosto es el siguiente paso tras la fabricación de la malta de cebada y consta de cinco procesos fundamentales que se detallarán a continuación.

1.6.1. Molienda de la malta de cebada.

En primer lugar, se debe molturar la malta de cebada en un molino de rodillos para que la semilla libere la masa harinosa y se fragmente desprendiendo la cáscara que servirá como medio filtrante. Además, es necesaria la fragmentación de la malta para que se asegure una correcta hidratación. El triturado no debe ser excesivo ya que implicaría una difícil separación de los componentes sólidos (bagazo) [22].

En este proceso se agregarán los adjuntos que se consideren necesarios para la elaboración de la cerveza.

1.6.2. Maceración.

La maceración es el proceso en el que se mezclan la malta de cebada y adjuntos previamente molidos con agua a cierta temperatura, con el objetivo de que las enzimas de la malta conviertan el almidón en azúcares fermentables.

Implica tres reacciones enzimáticas principalmente [23]:

- La degradación del almidón: El almidón es hidrolizado por la acción de dos enzimas (alfa-amilasa y beta-amilasa). La alfa-amilasa lo degrada a dextrinas, sustancias que contribuyen al cuerpo y estabilidad de la espuma en el producto final. La beta-amilasa desdobra el almidón en azúcares fermentables para que la levadura los transforme en alcohol.
- La degradación de proteínas: Las proteasas hidrolizan las proteínas en péptidos y aminoácidos libres, que son nutrientes valiosos para la levadura durante la fermentación; asimismo, contribuyen al sabor y a la formación y a la estabilidad de la espuma de la futura cerveza. Esta reacción también es importante pues disminuye la turbidez del producto final.
- La degradación de beta-glucanos: Las beta-glucanasas hidrolizan los glucanos presentes, así se consigue disminuir la viscosidad del mosto.

Los procesos enzimáticos dependen del pH y en especial de la temperatura. En general, todas las enzimas descritas anteriormente actúan en todas las temperaturas de maceración, pero todas poseen una temperatura óptima en la que desarrollan mejor su actividad; por otra parte, resultan gravemente dañadas a temperaturas elevadas. En la siguiente figura se pueden observar los rangos óptimos de temperatura para cada enzima.

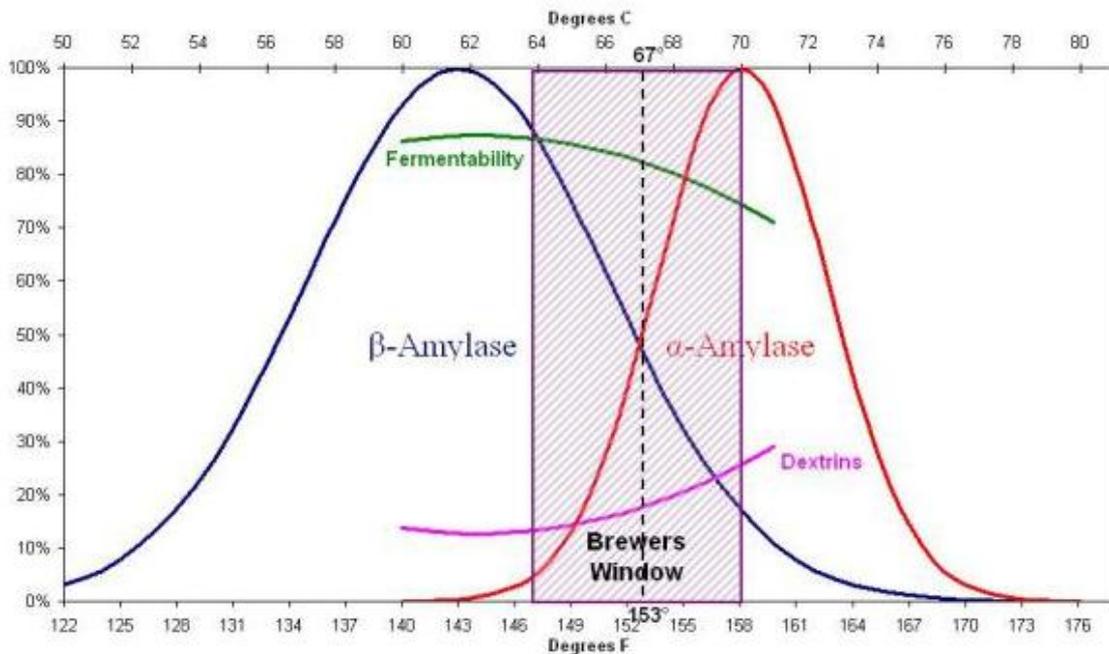


Figura 12: Actividad enzimática en una hora de macerado.

Fuente: <http://brewmasters.com.mx>

Generalmente, los cerveceros se detienen en la activación de la beta-amilasa para producir azúcares fermentables que generarán alcohol en el proceso de fermentación, y en la activación de la alfa-amilasa para la producción de dextrinas, las cuales otorgan cuerpo a la cerveza.

En este caso, se optará por una única temperatura de maceración de 67°C (153°F) durante 60 minutos. Se trata de una técnica habitual desarrollada por los cerveceros que permite obtener tanto azúcares fermentables como dextrinas, obteniéndose una cerveza equilibrada con cuerpo, algo dulce y con no demasiado contenido en alcohol [24].

En definitiva, la maceración es un proceso que cada cervecero elabora de forma diferente y personal, dependiendo de la cerveza que se desee en cada caso y del tipo de malta utilizada.

1.6.3. Filtrado.

Una vez terminada la maceración, los componentes insolubles de la malta, el bagazo, deben separarse del mosto.

En primer lugar, el macerado es bombeado a un depósito (Lauter Tun) en el cual se deja reposar durante 30 minutos aproximadamente. A continuación, se puede observar un modelo de depósito Lauter Tun.

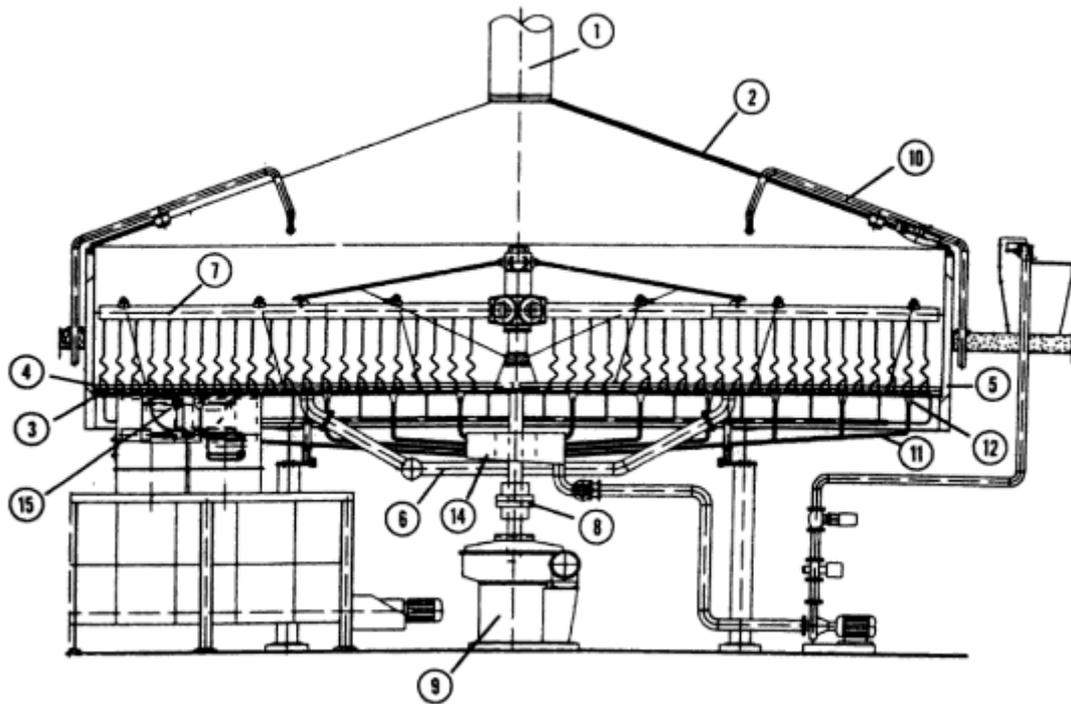


Figura 13: Depósito "Lauter Tun" y sus elementos principales.

Fuente: Hardwick, W. (1994). Handbook of Brewing.

Figura 13: (1) Pila de vapor, (2) Cúpula, (3) Fondo, (4) Falso fondo, (5) Paredes laterales, (6) Línea de transferencia de la malta remojada, (7) Rastrillos, (8) Cilindro de elevación, (9) Sistema de transmisión, (10) Sistema de lavado, (11) Conductos de clarificación, (12) Sistema de salida, (14) Sistema de recolección del mosto, (15) Compuerta de descarga de los granos usados.

El bagazo se depositará en el fondo actuando como medio filtrante. Transcurrido este tiempo, se abrirán los grifos de salida del depósito y el mosto comenzará a filtrarse con ayuda del bagazo y del filtro del depósito.

Una vez se haya filtrado la mayor parte del mosto, se procede al lavado del bagazo para disolver el azúcar que pudiera haber quedado retenida. Para lograr una buena disolución se usará agua caliente. No obstante, el agua de lavado no debe superar los 80°C, pues podría arrastrar restos de almidón que no han sido sintetizados.

Este proceso se repetirá durante dos o tres horas, hasta que se haya transferido todo el mosto al tanque de cocción y se observe que el mosto filtrado es claro.

Durante este tiempo, cada vez que se vierta agua, se deben dejar 10 minutos de agitación para que el agua disuelva los azúcares restantes.

Por último, el bagazo agotado es un excelente pienso que puede ser reutilizado para el ganado o como abono [25].

1.6.4. Cocción.

Después de haber filtrado el mosto, el paso siguiente es la cocción del mismo. En este proceso se añadirá el lúpulo para otorgar el amargor a la cerveza y, también, si es deseado, se podrán añadir hierbas aromáticas o cáscaras de frutas. En definitiva, la cocción del mosto persigue diversos fines [26]:

- Esterilización: Es necesaria para la eliminación de microorganismos, mohos o bacterias que puedan quedar. Además, inactiva las enzimas que han sobrevivido al proceso de maceración.
- Desnaturalización proteica: Las sustancias fenólicas que se obtienen de la malta y del lúpulo reaccionarán con las proteínas para formar grandes complejos moleculares que no son solubles en el mosto. Por tanto, precipitarán otorgando turbidez al mosto y mayor cantidad de espuma.
- Desarrollo del color: Durante la cocción del mosto existe una pérdida de alfa-amino nitrógenos (FAN) que provocará un cambio en el color del mosto.
- Extracción de los alfa-ácidos del lúpulo: Los alfa-ácidos, resinas y aceites esenciales son extraídos en caliente ya que éstos son insolubles en frío. Otorgan a la cerveza el característico sabor amargo.
- Destilación de vapor: Es necesaria para eliminar el exceso de agua obtenida en el lavado del bagazo y, además, la concentración del mosto aumentará.
- Reducción de pH del mosto: El pH del mosto disminuirá por la formación de melanoidinas y por la aportación de alfa-ácidos por parte del lúpulo.

En primer lugar, se comenzará precalentando el depósito de cocción para que cuando se traspase del depósito de filtrado, el mosto no sufra una bajada de temperatura innecesaria. El proceso de cocción suele durar entre 60 y 120 minutos a 100°C, y se realizará la primera adición del lúpulo cuando el mosto

empiece a hervir a borbotones. La última adición de lúpulo se realiza poco antes de que termine la ebullición para otorgar al mosto más sabor. Durante el calentamiento, el mosto enturbiará por la formación de pequeños coágulos de proteínas, acompañado de partículas del lúpulo. Se ha de tener sumo cuidado en no extender demasiado el proceso de cocción ya que existe el peligro de disolver el material responsable de la turbidez. Se utilizarán entre 2 y 4 gramos de lúpulo por cada litro de cerveza, depende del amargor que se desee en el producto [27].

1.6.4.1. Escala de amargor IBU (International Bitterness Unit).

Como se ha comentado anteriormente, durante la cocción del mosto se consigue que los alfa-ácidos sean solubles y, de esta manera, otorguen el amargor al producto.

La escala IBU (International Bitterness Unit) fue creada por la Sociedad Americana de Químicos Cerveceros y es la escala más utilizada en la actualidad para medir el amargor de la cerveza. Hace referencia a la cantidad efectiva de alfa-ácidos que contiene la cerveza (1 IBU equivale a 1 mg de alfa-ácidos por litro de cerveza). La escala IBU va de 0 a 100, siendo las cervezas cercanas a cero las menos amargas. A continuación, se muestra una escala establecida por algunos fabricantes con rangos empíricos [28].

Tabla 3. Escalas IBU.

IBU	Calificación
5-10	Poco amargo
10-40	Amargo
40-60	Muy amargo
60-100	Extremadamente amargo
Más de 100	Excepcionalmente amargo

En las grandes fábricas cerveceras, la medición de las IBU se realiza directamente en el producto terminado mediante complejos análisis químicos que utilizan espectrofotómetros o cromatógrafos. No obstante, existen diferentes fórmulas empíricas, como la de Glenn Tinseth o Jackie Rager, que estiman de forma aproximada el valor del amargor [29].

$$IBU = \frac{(W_{oz} \times U\% \times \alpha\% \times 7489)}{(V_{gal} \times C_{gravity})} \quad \text{Ecuación de Jackie Rager}$$

$$IBU = (1,65 \times 0,000125^{(G_{gravity}-1)}) \times \frac{(1 - e^{-0,04 \times T_{min}})}{4,15} \\ \times \left(\frac{\alpha\%}{100} \times W_{oz} \times 7490 \right) \quad \text{Ecuación de Glenn Tinseth}$$

Donde:

- W_{oz} = El peso del lúpulo en onzas.
- T_{min} = Tiempo en minutos.
- V_{gal} = Volumen en galones.

- $C_{gravity}$ = Densidad del mosto.
- α = Porcentaje de alfa-ácidos.

1.6.5. Clarificación, enfriamiento y aireación.

1.6.5.1. Clarificación.

La clarificación del mosto es el siguiente paso que se debe realizar tras la cocción del mismo. Esta operación se desarrollará en un tanque de centrifugación, también llamado whirlpool. En primer lugar, la temperatura del mosto se descenderá a unos 80°C, mediante un intercambiador de placas, para facilitar la suspensión de las partículas. Una vez se obtenga el mosto a dicha temperatura, se procede a la centrifugación. El mosto entrará tangencialmente en el whirlpool y se irá formando un cono de partículas en el centro del tanque con la ayuda de la centrifugación. Esta operación se extenderá durante 30 minutos y, posteriormente, se dejará decantando por gravedad durante 15 minutos para que precipiten el resto de partículas en suspensión [30].

1.6.5.2. Enfriamiento.

Una vez clarificado el mosto, se procede a su enfriamiento mediante un intercambiador de placas. Su temperatura descenderá a unos 20-25°C, lo cual provocará una precipitación de proteínas y taninos insolubles en partículas más finas que se separarán mediante centrifugación o filtración. Este enfriamiento es necesario para que el siguiente proceso, la fermentación, se realice correctamente puesto que la levadura se reproduce mejor a estas temperaturas [31].

1.6.5.3. Aireación.

La aireación del mosto se efectuará tras el enfriamiento del mismo para que la levadura tenga oxígeno suficiente para comenzar su desarrollo. Esta operación se puede realizar con ayuda de un difusor conectado a un compresor de aire, el cual estará instalado a la salida del intercambiador de placas o con un tubo de Pitot conectado opuestamente al flujo de mosto.

1.7. Fabricación de la cerveza.

1.7.1. Fermentación.

La fermentación es un proceso biológico anaeróbico en el cual la levadura procesará los azúcares (glucosa) disueltos en el mosto para la obtención de dióxido de carbono, etanol y energía. Su finalidad biológica es proporcionar energía anaeróbica a la levadura en ausencia de oxígeno a partir de la glucosa. El primer paso en el proceso de fermentación es la glucólisis. El ácido pirúvico formado en el ciclo de Krebs se descarboxila formándose acetaldehído, el cual servirá luego como aceptor de hidrógeno para la formación de alcohol etílico. A continuación, se puede observar la reacción:

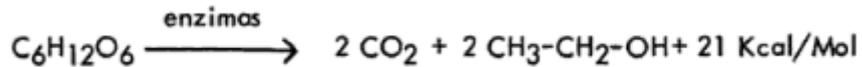


Figura 14. Ecuación de Gay-Lussac.

Como materia prima para la fermentación alcohólica se utilizan generalmente jugos de frutas, los cuales contienen mucha glucosa y fructosa. Sin embargo, no todos los azúcares pueden ser fermentados por la levadura, el almidón, por ejemplo, no es sintetizado por la levadura debido a que carecen de la enzima diastasa (alfa-amilasa). Por esta razón, durante la fabricación de la cerveza, es necesario maltear el cereal, pues durante la germinación se genera gran cantidad de esa enzima y la mayor parte del almidón se transforma en azúcares fermentables [32].

1.7.1.1. Crecimiento celular.

Las etapas del crecimiento celular en un reactor discontinuo se muestran de manera esquemática en la siguiente figura:

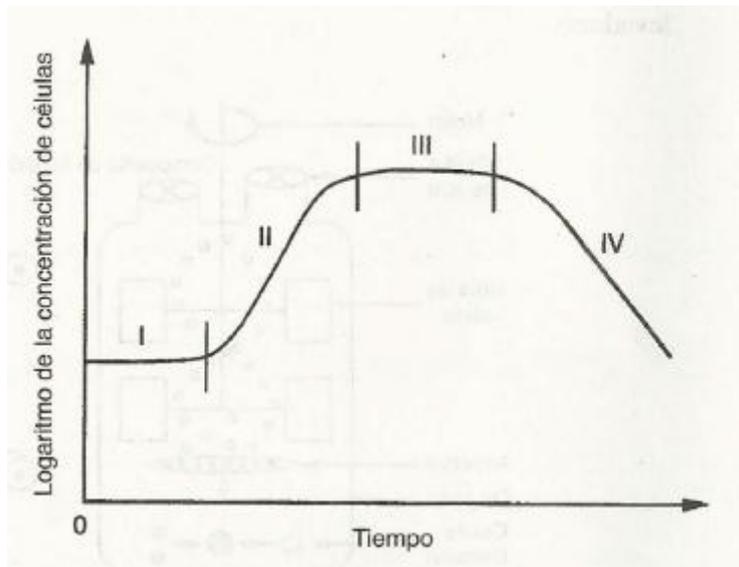


Figura 15. Fases del crecimiento de células bacterianas.

Fuente: H. Scott Fogler.

Inicialmente, se inocula un pequeño número de células al reactor intermitente que contiene los nutrientes. Por esto, es necesario una pequeña cantidad de oxígeno para que la levadura pueda comenzar a reproducirse.

En la fase I, llamada fase de retraso, hay poco aumento en la concentración celular. Durante esta fase, las células se ajustan a su entorno, sintetizando enzimas y preparándose para la reproducción. En este tiempo, las células llevan a cabo funciones de síntesis de proteínas para desplazar el sustrato hacia el interior de la célula. Además, comienzan el trabajo de replicación del material genético de las células. La duración de esta fase depende de que el medio del cual se ha extraído el inóculo sea similar o no al medio en el que se coloca.

La fase II es conocida como fase de crecimiento exponencial puesto que la tasa de crecimiento es proporcional a la concentración de las células. En esta etapa, las células se dividen al máximo de velocidad porque existe una gran cantidad de sustrato disponible.

La fase III es denominada como la fase estacionaria. En esta fase, la falta de nutrientes y de espacio biológico limitan el crecimiento celular, por tanto, la velocidad neta de crecimiento es cero como resultado del agotamiento del sustrato.

Por último, la fase IV, es la fase de la muerte; en ella ocurre la reducción de concentración de células vivas debido a los subproductos tóxicos (etanol), las difíciles condiciones ambientales y el agotamiento del sustrato [33].

1.7.1.2. Primera fermentación.

Terminado el proceso de filtración, aireación y enfriamiento, el mosto se transvasa al tanque de fermentación. El fermentador se acondicionará a una temperatura entre 20-25°C para asegurar que la levadura tipo Ale se desarrolle adecuadamente.

El siguiente paso, es echar la levadura en el tanque para comenzar con la inoculación. Como medida estándar se usarán 0,6 gramos de levadura por cada litro de cerveza. Durante este proceso, la mayoría de los azúcares son transformados en alcohol y dióxido de carbono. Se caracteriza por una gran turbulencia y un profuso burbujeo, por tanto, es de suma importancia que el tanque tenga una válvula de escape para provocar una despresurización y de esta manera evitar un posible accidente. Este proceso finalizará cuando los grados plato, considerando el grado plato como la cantidad de extracto primitivo seco en 100 gramos de mosto, o densidad registren el mismo valor durante varios días consecutivos [34]. A continuación, se muestra una imagen de un depósito troncocónico para la fermentación.



Figura 16. Fermentador troncocónico.

Fuente: <https://morebeerpro.com>

1.7.2. Maduración.

Una vez concluida la fermentación primaria, la cerveza presentará una gran turbidez provocada por sólidos en suspensión y la levadura. Además, aún mantiene un porcentaje alto de azúcares no fermentados y una cantidad de subproductos que no son deseados. Estas características hacen que la cerveza no tenga un sabor óptimo y que su apariencia no sea la deseada. Este producto aún inmaduro es denominado “cerveza verde” y es necesaria una segunda fermentación, o maduración, para que la cerveza esté conforme a los requerimientos del cliente.

La maduración es el proceso en el cual se mantiene la cerveza en reposo, a una temperatura determinada con el fin de mejorar las condiciones organolépticas. Durante esta fase, la levadura metaboliza lentamente los azúcares que todavía no se han fermentado por completo y reprocesa ciertos subproductos perjudiciales como el diacetilo, la 2,3-pentanodiona y el acetaldehído.

El proceso de maduración comienza con la eliminación de los sólidos precipitados, esto se realizará mediante una válvula que posee el tanque en la parte inferior.

Completado el proceso de filtración, se almacenará la cerveza verde en el tanque de fermentación durante una semana a una temperatura cercana a 20°C. Durante este tiempo, es preciso eliminar los nuevos sólidos que se vayan formando para que no se acumulen y contaminen a la cerveza [35].

1.7.3. Clarificación.

Tras el proceso de maduración la cerveza puede presentar una turbidez no deseada, la cual surge por varias causas:

- Presencia de materia vegetal y levaduras empleadas en el proceso de elaboración.
- Condensación de ciertas proteínas por acción del frío.
- Desarrollo de levaduras y bacterias contaminantes.

Los dos primeros defectos suelen ser corregidos mediante la adición de clarificantes que inducen a la aglutinación y floculación de partículas en suspensión. El tercero, sin embargo, es de difícil reversión y la mayoría de las veces supone la pérdida del producto.

Existen varios tipos de agentes clarificantes, dependiendo de la fase de elaboración en la cual son agregados. A continuación, se detallan los más usados:

- Irish Mosh: Conocido también como musgo irlandés, es un carragenato elaborado a partir de un alga. Actúa como agente espesante, aglutinando y precipitando las proteínas suspendidas. Es un clarificante que se añade en la fase de cocción, generalmente en los últimos 15 minutos. Se usan, aproximadamente, entre 0,10 y 0,15 gramos por cada litro de mosto.
- Isinglass: Es un colágeno obtenido a partir de la vejiga natatoria de ciertos peces. Es altamente efectivo en la precipitación de la levadura, por tanto, es agregado al final de la etapa de la fermentación secundaria. Su dosis habitual es de 0,05 y 0,07 gramos por cada litro de mosto.
- Polyclar: Se trata de un polímero sintético denominado polivinilpolipirrolidona o PVPP que se usa comúnmente en cervecería y enología. Respecto a la cerveza, es muy efectivo contra el enturbiamiento por frío, ya que, actúa enlazándose mediante puentes de hidrógeno a los polifenoles, impidiendo así que se combinen con las proteínas. Suele añadirse antes del embotellado de la cerveza y su dosis de empleo es de 0,05 a 0,20 gramos por cada litro de cerveza.

Una vez añadido el agente clarificante, la cerveza se mantiene en reposo durante 24 horas para que precipiten todas las impurezas. Cuando el tiempo haya transcurrido, se procederá a la filtración del producto [36].

No obstante, la clarificación es un proceso opcional, muchas fábricas renuncian a este proceso para otorgar un aspecto más natural al producto y un sabor más tradicional.

1.7.4. Carbonatación.

Al finalizar la fermentación, la cerveza ha perdido casi todo el gas generado, por lo que se procede a la carbonatación para otorgar al producto su característica espuma.

Existen dos métodos principales para aumentar el contenido de dióxido de carbono en la cerveza [37]:

- Adición de azúcar: Es el más conocido en el ámbito artesanal, también denominado carbonatación natural o cebado. El azúcar es añadido a todo el lote previamente al proceso de embotellado y se agrega en frío para aumentar la retención de dióxido de carbono en el seno del líquido.

Se deben conocer tres datos básicos para poder concretar la cantidad exacta de azúcar que se va a necesitar.

1. La cantidad de gas que se desea en el producto final.
2. La temperatura máxima que se registró durante la fermentación.
3. La cantidad de gas residual en la cerveza.

La cantidad del gas deseado en la cerveza es, lógicamente, un factor opcional y a gusto del fabricante. No obstante, a partir de concentraciones superiores a 3,5 volúmenes (1 volumen de gas equivale a 1 litro de ese gas disuelto en 1 litro de cerveza en condiciones normales) comienza a ser excesiva para la mayoría de las cervezas. A continuación, se detallan en la siguiente tabla las concentraciones aproximadas para cada tipo de cerveza:

Tabla 4. Contenido en CO₂ según el estilo de la cerveza.

Estilo de cerveza	Volúmenes de CO₂
Ales británicas	1,5 – 2,0
Porter, stout	1,7 – 2,3
Ales belgas	1,9 – 2,4
Lager europeas	2,2 – 2,7
Ales y lager americanas	2,2 – 2,7
Lambic	2,4 – 2,8
Lambic de frutas	3,0 – 4,5
Cerveza de trigo alemana	3,3 – 4,5

La temperatura máxima de fermentación es muy importante tenerla registrada, ya que con ayuda de la tabla 5 se puede estimar la cantidad de dióxido de carbono residual que alberga la cerveza.

Tabla 5. CO₂ residual según la temperatura máxima de fermentación.

Temperatura (°C)	Volúmenes de CO ₂
15	1,01
16	0,98
17	0,94
18	0,92
19	0,89
20	0,86
21	0,84
22	0,81
23	0,79
24	0,77
25	0,76
26	0,74
27	0,73
28	0,72
29	0,71

Finalmente, si se dispone de todos los datos mencionados anteriormente, la cantidad de gas que se va a adicionar a la cerveza se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Vol. CO}_2 \text{ a adicionar} = \text{Vol. CO}_2 \text{ deseados} - \text{Vol. CO}_2 \text{ residuales}$$

Considerando que cada gramo de azúcar equivale a 0,23 volúmenes de CO₂.

- **Disolución de CO₂:** Recibe también el nombre de carbonatación forzada. Consiste en disolver dióxido de carbono, proveniente de un cilindro dispensador de alta presión, en el seno del líquido. Este método no es el más usado en la elaboración de cervezas artesanales puesto que supone un desembolso económico mayor, es necesario comprar todo el equipo industrial y el CO₂ de calidad alimentaria.

1.7.5. Control de calidad.

El control de calidad es el proceso necesario para verificar que el producto que se ofrece al cliente se encuentra conforme a sus requerimientos. Este paso es de gran importancia ya que los lotes deben diferir lo mínimo posible entre ellos para que el cliente siempre encuentre el mismo producto.

La normativa de calidad aplicable a la cerveza está regulada mediante el 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.

Concretamente, en el artículo 9, se disponen los métodos analíticos recomendados en los controles oficiales por la European Brewery Convention (EBC) o, en su defecto, aquellos métodos de organismos nacionales e internacionales de reconocida solvencia.

Por tanto, los parámetros analíticos necesarios son:

1. Grado alcohólico. Se podrán utilizar los siguientes métodos alternativos:

- ❖ Destilación y densimetría.
- ❖ Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIR).

2. pH: Se calculará mediante potenciometría.

3. Densidad y masa volúmica: Densimetría.

4. Extracto real: Densimetría y cálculos.

5. Extracto seco primitivo: Cálculo mediante la fórmula de Balling.

6. Color: Espectrofotometría a 430 nm.

7. Amargor: El cual se podrá determinar mediante los siguientes métodos alternativos:

- ❖ Espectrofotometría a 275 nm.
- ❖ Iso alfa-ácidos del lúpulo: HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Eficacia).

1.7.6. Etiquetado y envasado.

En primer lugar, se comenzará con el etiquetado de las botellas de 33 cL. Este proceso es necesario que ocurra antes del envasado del producto, esto es debido a que todos estos procesos se realizan a una temperatura muy baja para que la cerveza pierda la menor cantidad posible de dióxido de carbono, por tanto, se podría producir una condensación en la botella la cual dificultaría el pegado de las etiquetas.

El etiquetado del producto deberá estar conforme a la Reglamentación UE N° 1169/2011 de 25 de octubre de 2011, que establece los principios generales, los requisitos y las responsabilidades que rigen la información alimentaria y, en particular, el etiquetado de los alimentos.

En segundo lugar, el envasado del producto deberá realizarse en botellas de vidrio de color ámbar o verde para proteger el producto de la luz del sol y evitar su oxidación. Las botellas irán cerradas con tapas de corona.

El llenado de las botellas se puede llevar a cabo mediante un sistema de vacío o un sistema de contrapresión [38].

El sistema de vacío provoca una presión negativa que induce al movimiento de la cerveza hacia dentro del recipiente. Es necesario controlar muy bien el vacío para lograr que el llenado se produzca sin turbulencias, para que no provoquen un exceso de espuma.

Por otro lado, el sistema de contrapresión iguala las presiones del tanque alimentador de la cerveza y la botella, y se abren las válvulas permitiendo el vertido del producto en el envase. Este sistema posee la gran ventaja de que disminuye considerablemente el contacto del oxígeno con la cerveza, lo que impide su oxidación.

Todos los envases deberán estar conforme a las siguientes normas [39]:

- Control del contenido efectivo: Real Decreto 1801/2008, de 3 de noviembre.
- Características de las botellas como recipientes-medida: Real Decreto 703/1988, de 1 de julio.
- Envases y residuos de envases: 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.

1.7.7. Limpieza y desinfección de los equipos.

La limpieza y desinfección de los equipos en la industria cervecera, al igual que en el resto de sectores de fabricación de alimentos y bebidas, es de suma importancia, pues el producto que se elabora está destinado al consumo humano.

Los objetivos de la limpieza y desinfección son los siguientes: garantizar la seguridad alimentaria del producto, cumplir con los requisitos de calidad exigibles y salvaguardar la seguridad de los empleados. Todo ello, además, debe estar conforme al Reglamento 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria y, también, al Reglamento UE N° 852/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios.

Los agentes de limpieza empleados suelen ser alcalís (hidróxido sódico y potásico, metasilicato, carbonato sódico), ácidos (ácido nítrico, fosfórico, cítrico y glucónico), productos compuestos que contienen agentes quelantes (EDTA, NTA, fosfatos) y agentes de actividad en superficies y/o enzimas. Estos productos suelen usarse muy diluidos, al 2% aproximadamente, y a temperaturas de 80°C durante 45 minutos. Los enjuagues, tras la aplicación de los distintos agentes de limpieza/desinfección, suele hacerse con agua caliente.

La limpieza del exterior de los equipos y las instalaciones suele hacerse de modo manual, pues no existen actualmente sistemas totalmente automatizados. Por el contrario, la limpieza del interior de los equipos suele estar totalmente automatizada.

El sistema automático más empleado en la industria cervecera es el CIP (Clean In Place). Se emplea específicamente en procesos y depósitos cerrados, tanto estacionarios como móviles. Los pasos con los que opera el sistema son: preenjuagado con agua, circulación con un agente de limpieza, enjuagado intermedio, desinfección y enjuagado final con agua.

El sistema manual se encuentra cada vez más en desuso. No obstante, existen determinadas zonas donde el sistema automático no puede actuar y es necesaria la intervención de la mano de obra para asegurar la completa limpieza del equipo, como son, por ejemplo, las zonas muertas del reactor o del macerador [40].

2. OBJETIVO Y ALCANCE.

2.1. Objetivo.

El objetivo del presente Trabajo de Fin de Grado es el diseño de una planta industrial cervecera con un volumen de producción mensual de 4000 litros.

2.2. Alcance.

En el proyecto se realizarán y detallarán los siguientes apartados:

- El proceso de fabricación de la cerveza.
- Simulación del proceso de fermentación mediante Polymath.
- Balance de materia y diagrama de flujo de la planta industrial.
- Elección de la maquinaria.
- Medición y presupuestos para el cálculo de la inversión total.
- Pliego de condiciones para la ejecución del proyecto.

3. MARCO NORMATIVO LEGAL.

- 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.
- Reglamento UE N° 1169/2011 de 25 de octubre de 2011, que establece los principios generales, los requisitos y las responsabilidades que rigen la información alimentaria y, en particular, el etiquetado de los alimentos.
- Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales.
- Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de los Impuestos Especiales.
- Real Decreto 1801/2008, de 3 de noviembre, 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, por el que se aprueban las características de las botellas utilizadas como recipientes-medida.
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.
- Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.
- Reglamento (CE) n° 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria.
- Reglamento (CE) n° 852/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios.
- Real Decreto 1334/1999, de 31 de julio, por el que se aprueba la Norma general de etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios.
- Real Decreto 1245/2008, de 18 de julio, por el que se modifica la norma general de etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios, aprobada por el Real Decreto 1334/1999, de 31 de julio.

- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de protección del ambiente atmosférico.
- Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

4. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Real Academia Española. Consultado el 7 de septiembre de 2017.
- [2] Kiple, F.; The Cambridge World History of Food. Kenneth (2001). «Part III - Dietary Liquids». En Cambridge University Press. I. Kriemhild Coneè Ornelas Segunda edición. Nueva York. pp. 619-624.
- [3] http://www.diariocordoba.com/noticias/sociedad/cerveza-mas-antigua_147547.html. Consultado el 7 de septiembre de 2017.
- [4] VMA, Verlag Wiesbaden. Obra con detalles acerca de la producción de cerveza, abundantes ilustraciones y explicación del proceso y las costumbres asociadas con la cerveza, "Das Grosse Lexicon vom Bier".
- [5] http://www.cerveceros.org/tipos_cervz.asp. Consultado el 8 de septiembre de 2017.
- [6] www.cerveceros.org. Consultado el 11 de septiembre de 2017.
- [7] www.birrapedia.com. Consultado el 11 de septiembre de 2017.
- [8] Palmer, J.; Kaminski, C. Water a comprehensive guide for brewers. Colorado: Brewers, 2013.
- [9] www.aljarafesa.es. Consultado el 12 de septiembre de 2017.
- [10] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 88-92. 2017.
- [11] Fonnegra, G. R.; Luz, J. S.; Plantas medicinales aprobadas en Colombia. Segunda edición. 2007. pp. 170.
- [12] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 76-80. 2017.
- [13] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 68-74. 2017.
- [14] <http://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TC/mat.pdf>. Consultado el 2 de octubre de 2017. pp. 20-22.
- [15] Olmedo, G. F. El malteo de la Cebada. (1965). "Cereales" (n. 174); pp. 17.
- [16] Olmedo, G. F. El malteo de la Cebada. (1965). "Cereales" (n. 174); pp. 17-18.
- [17] <https://es.malteurop.com/nuestra-actividad/maltas/malteado>. Consultado el 4 de octubre de 2017.

- [18] Castillo, L. C. Germinación y malteado de cebada. Universidad Central de Ecuador. 2002.
- [19] Hernández, R. M.; Sastre, G. A. Tratado de nutrición. Ed. Diaz de Santos. 1999. pp. 442.
- [20] <https://es.malteurop.com/nuestra-actividad/maltas/malteado>. Consultado el 4 de octubre de 2017.
- [21] <https://es.malteurop.com/nuestra-actividad/maltas/malteado>. Consultado el 4 de octubre de 2017.
- [22] Vogel, W. Elaboración casera de cerveza. 2015. 5ªed. Acribia. pp. 48.
- [23] Hernández, A.; Alfaro, I.; Arrieta, R. Microbiología Industrial. 2003. Ed. Estatal a distancia. pp. 120.
- [24] <http://brewmasters.com.mx/las-temperaturas-de-maceracion-ciencia-y-arte/>. Consultado el 9 de octubre de 2017.
- [25] Vogel, W. Elaboración casera de cerveza. 2015. 5ªed. Acribia. pp. 61-66.
- [26] Hardwick, W. Handbook of brewing. 1994. pp. 292.
- [27] Vogel, W. Elaboración casera de cerveza. 2015. 5ªed. Acribia. pp. 66-68.
- [28] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 85-86. 2017.
- [29] <http://www.rooftopbrew.net/ibu.php>. Consultado el 16 de octubre de 2017.
- [30] Hernández, A.; Alfaro, I.; Arrieta, R. Microbiología Industrial. 2003. Ed. Estatal a distancia. pp. 122.
- [31] Páez, E. V. A. Bebidas fermentadas. 2010. pp. 28.
- [32] Ludwig E. M. Manual de Laboratorio de Fisiología Vegetal. 1964. pp. 92.
- [33] H. Scott Fogler. Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas. 4ªedición. pp. 422-423. 2008.
- [34] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 118-119. 2017.
- [35] <http://www.revistamash.com.ar/2017/detalle.php?id=424>. Consultado el 25 de octubre de 2017.
- [36] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 122-125. 2017.
- [37] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 126-134. 2017.

- [38] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 136-139. 2017.
- [39] http://www.cerveceros.org/cont_mlegal.asp#e6. Consultado el 31 de octubre de 2017.
- [40] <http://www.cerveceros.org/pdf/guiaMTDskonMimam.pdf>. Consultado el 23 de octubre de 2017.
- [41] Ahmad, F. Study of growth kinetic and modeling of ethanol production by *Saccharomyces Cerevisiae*. African Journal of Biotechnology. 2011. Vol. 16, Malaysia.
- [42] H. Scott Fogler. Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas. 4ª edición. pp. 423-434. 2008.
- [43] Marcos, R.; González, G. Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales. Primera edición. pp. 179. 2017.
- [44] <http://www.todoalimentos.org/harina-de-malta-de-cebada/>. Consultado el 20 de noviembre de 2017.

5. UBICACIÓN DE LA PLANTA.

Para determinar la situación de la planta industrial se ha concluido que la planta debe encontrarse en la provincia de Sevilla, pero no en la capital, ya que el precio del metro cuadrado es más barato. Sin embargo, no debe estar situado demasiado lejos pues el coste del transporte sería mayor.

La localización de la planta no influye demasiado en el coste de las materias primas, puesto que la mayoría son importadas. No obstante, es de suma importancia que la industria se encuentre en la provincia de Sevilla, ya que se utilizará el agua de la red, pues es un agua con una concentración de sales apta para la fabricación de cervezas.

Por tanto, la ubicación seleccionada para la planta industrial se encuentra en el Polígono Industrial Citec (Gelves).



Figura 17. Ubicación de la planta industrial: Polígono Industrial Citec (Gelves).

