

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

Operaciones Básicas en la Industria Cervecera

Autor: José Antonio Díaz Cadenas

Tutores: Mónica Rodríguez Galán

Fernando Vidal Barrero

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

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Operaciones Básicas en la Industria Cervecera

Autor:

José Antonio Díaz Cadenas

Tutores:

Mónica Rodríguez Galán

Fernando Vidal Barrero

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

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado: Operaciones Básicas en la Industria Cervecera

Autor: José Antonio Díaz Cadenas

Tutor: Mónica Rodríguez Galán
Fernando Vidal Barrero

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El secretario del Tribunal

A mis padres

A mi familia

A María

A mis tutores

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi familia, en especial a mis padres, por animarme, apoyarme y confiar en mí en todo momento.

Agradecer también a mis tutores, Mónica y Fernando por su atención y paciencia constante y sacar hueco siempre.

Por último, a todas las personas que me han apoyado en este duro y largo camino, ayudándome a conseguir acercarme a la meta.

RESUMEN

En la actualidad, la industria cervecera se encuentra entre los sectores con mayor crecimiento tanto económico como tecnológico y en pleno auge invirtiendo grandes cantidades de dinero, tanto para la mejora de la calidad del producto, como para la reducción de las emisiones al medio ambiente y el consumo energético. Referente a la creación de empleo, es uno de los sectores con mayor crecimiento.

En cuanto al proyecto, el principal objetivo se basa en la definición de las diferentes operaciones que ocurren en una industria cervecera, desde que la cebada es recolectada en el campo, se recepciona en las malterías y allí es tratada, así como todos los procesos que ocurren dentro una fábrica de cerveza, molienda de la malta, elaboración en la brewhouse, operaciones de maduración, filtración, carbonatación, pasteurizado y posterior envasado, sin dejar de lado las limpiezas de los equipos y tuberías para garantizar la calidad del producto. En cada una de las operaciones incluyendo parámetros de diseño a cumplir y equipos que intervienen.

ABSTRACT

At present, the brewing industry is among the sectors with the highest economic and technological growth and in full boom investing large amounts of money both for the improvement of product quality and for emissions with the environment and energy consumption. In terms of job creation, it is one of the fastest growing sectors.

As for the project, the main objective is based on the definition of the different operations that occur in a brewing industry, since the malt is collected in the field, is received in the malting plants and there it is treated, as well as all the processes that occur inside a brewery, malt milling, Elaboration in the brewhouse, maturation operations, filtration, carbonation, and subsequent packaging, without neglecting the cleaning of the equipment and pipes to guarantee the quality of the product. All operations including different ranges of parameters involved in them, as well as the equipment involved in each of them.

ÍNDICE

Agradecimientos	viii
Resumen	x
Abstract.....	xii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras.....	xix
Notación.....	xxii
1. Introducción a la industria cervecera	1
1.1 <i>Definición de la Cerveza.</i>	1
1.2 <i>Historia de la Cerveza.</i>	1
1.3 <i>Ingredientes</i>	2
- Agua.....	2
- Malta	6
- Lúpulo.....	8
- Levadura.....	11
- Adjuntos.....	13
1.4 <i>Clasificación de Cervezas.</i>	15
1.5 <i>Fabricantes de Cerveza en España.</i>	17
2. Objetivo y alcance.....	19
3. Operaciones básicas en el proceso de elaboración de cerveza.....	20
3.1 <i>Malteado</i>	20
3.1.1 <i>Limpieza y clasificación.</i>	20
3.1.2 <i>Secado y almacenamiento de la cebada.</i>	21
3.1.3 <i>Remojo de la cebada.</i>	23
3.1.4 <i>Germinación de la cebada.</i>	25
3.1.5 <i>Tostado de la cebada.</i>	28
3.2 <i>Molienda.</i>	31
3.3 <i>Macerado</i>	32
3.4 <i>Filtrado.</i>	39
3.5 <i>Hervido.</i>	41
3.6 <i>Whirlpool</i>	44
3.7 <i>Enfriamiento.</i>	46
4. Operación básica de fermentación	48
4.1 <i>Definición de la fermentación alcohólica en el proceso cervecero.</i>	48
4.2 <i>Tipos de fermentación</i>	49
4.3 <i>Fermentación principal y secundaria.</i>	50
4.4 <i>Productos de la fermentación.</i>	51
4.5 <i>La Atenuación.</i>	54
4.6 <i>Cálculo dosis de siembra de levadura en fermentadores.</i>	55
4.7 <i>Diseño y forma de los tanques cilindro cónicos de fermentación.</i>	56
4.8 <i>Cosecha de levadura del tanque cilindro cónico.</i>	57
5. Operación básica de trasvase/guarda	59
5.1 <i>Estabilización biológica de la cerveza</i>	59
5.1.1 <i>Pasterización tipo túnel.</i>	61
5.2 <i>Estabilización coloidal de la cerveza</i>	62

5.2.1	Adición de agentes estabilizadores.	62
6.	Operación básica de filtración.....	64
6.1	<i>Mecanismos de separación.....</i>	64
6.2	<i>Medios filtrantes.....</i>	65
6.3	<i>Tipos de filtros.....</i>	65
6.3.1	Filtro de masa.....	65
6.3.2	Filtro de placas.....	66
6.3.3	Filtro de membranas.....	67
7.	Operación básica de carbonatación.....	69
7.1	<i>Etapas equipo de carbonatación.....</i>	69
8.	Operación básica de envasado.....	71
8.1	<i>Envasado en botellas de vidrio.....</i>	71
8.1.1	Acondicionamiento de las máquinas llenadoras de botellas de vidrio.....	71
8.1.2	Suministro de los diferentes productos a la llenadora.....	72
8.1.3	Introducción, manipulación y descarga de las botellas de vidrio.....	72
8.1.4	Operación de los elementos elevadores.....	72
8.1.5	Regulación de altura y adaptación a diferentes formatos de botella.....	72
8.1.6	Funcionamiento de los dispositivos de llenado.....	72
8.1.7	Taponado de botellas de vidrio.....	73
8.1.8	Limpieza de la máquina.....	74
8.1.9	Control de botellas llenadas y taponadas.....	74
8.2	<i>Envasado en latas.....</i>	74
8.2.1	Latas y cierres.....	74
8.2.2	Almacenamiento, despaletizado y desplazamiento de las latas.....	75
8.2.3	Enjuague de las latas.....	75
8.2.4	Inspección de latas vacías.....	75
8.2.5	Llenado de latas.....	76
8.2.6	Cierre de latas.....	77
8.2.7	Inspección de latas llenadas.....	77
8.2.8	Pasteurizado de las latas.....	77
8.3	<i>Envasado en kegs, barriles.....</i>	78
8.3.1	Limpieza de kegs.....	78
8.3.2	Llenado de kegs.....	79
9.	Operación básica de limpieza y desinfección (CIP).....	80
9.1	<i>Etapas CIP.....</i>	80
9.2	<i>Ventajas Sistema CIP.....</i>	83
10.	Bibliografía.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de Agua según Sección en la Planta.....	4
Tabla 2. Valores límite Agua.....	5
Tabla 3. Diferencias especies levadura.....	13
Tabla 4. Estilos de cervezas Ale.....	16
Tabla 5. Estilos de cervezas Lager.....	17
Tabla 6. Estilos de cervezas de fermentación espontánea.....	17
Tabla 7. Ranking de fabricantes de Cervezas en España.....	18
Tabla 8. Mermas de almacenamiento en %.....	22
Tabla 9. Almacenamiento de la cebada.....	23
Tabla 10. Temperatura / Tiempo de remojo.....	24
Tabla 11. Temperaturas letales para diferentes enzimas.....	28
Tabla 12. Fabricación malta Pilsner en tostadero.....	29
Tabla 13. Tipos de malta según Cervezas.....	31
Tabla 14. Composición del extracto en una cerveza clara.....	35
Tabla 15. Ventajas e inconvenientes de la degradación de sustancias albuminoideas.....	35
Tabla 16. Adicciones de ácidos por cada 100 Kg de malta.....	36
Tabla 17 . Resumen macerado.....	38
Tabla 18. Resumen filtración.....	41
Tabla 19. Resumen hervido.....	44
Tabla 20. Resumen whirlpool.....	46
Tabla 21. Tipos de fermentación.....	50
Tabla 22. UP según temperaturas.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de Cerveza en el Antiguo Egipto.....	1
Figura 2. Extracto de la Ley de Pureza “Reinheitsgebot”.....	2
Figura 3. Agua.....	3
Figura 4. Eliminación del O ₂ en el agua.....	6
Figura 5. Desgasificación con membranas de fibra hueca.....	6
Figura 6. Granos de Malta.....	7
Figura 7. Estructura grano de cebada.....	7
Figura 8. Cebada de 2 y 6 Hileras.....	8
Figura 9. Lúpulo.....	9
Figura 10. Formatos de lúpulo.....	9
Figura 11. Tiempo de hervido del lúpulo.....	11
Figura 12. Levadura.....	11
Figura 13. Fases de crecimiento de la levadura.....	12
Figura 14. <i>Saccharomyces pastorianus</i> y <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13
Figura 15. Estilos de Cervezas.....	15
Figura 16. Proceso del malteado.....	20
Figura 17. Secadero de cebada.....	22
Figura 18. Remojo de la cebada.....	23
Figura 19. Tamaño del grano / Contenido agua absorbida.....	24
Figura 20. Esquema del Remojo de la cebada.....	25
Figura 21. Remojo / Aireación típica del malteado.....	25
Figura 22. Esquema de la germinación del grano.....	26
Figura 23. Raicillas y Acrospira durante el crecimiento.....	26
Figura 24. Alpha-amilasa.....	27
Figura 25. Aumento de la friabilidad del grano.....	27
Figura 26. Esquema del secado y tostado del grano.....	29
Figura 27. Color de la Cerveza EBC.....	30
Figura 28. Enzimas según Temperatura y pH.....	33
Figura 29. Dependencia de la actividad enzimática de la temperatura y el tiempo.....	33
Figura 30. Dependencia de la actividad enzimática del valor del pH.....	34
Figura 31. Curvas de los dos métodos de maceración.....	37
Figura 32. Camisas de vapor en caldera de maceración.....	37
Figura 33. Macerador.....	38
Figura 34. Extracto/Volumen de las coladas principales y secundarias.....	39
Figura 35. Cuba filtro o Lauter.....	40
Figura 36. Circuito de Vapor del Hervidor.....	43

Figura 37. Trub caliente Whirlpool.....	45
Figura 38. Diseño del Whirlpool.....	45
Figura 39. Intercambiador de placas.....	47
Figura 40. Reacción de Fermentación.....	48
Figura 41. Levadura.....	49
Figura 42. Carbonatación en fermentador f (P, T).....	51
Figura 43. Rueda de sabores y aromas de la cerveza.....	53
Figura 44. Dosis de siembra.....	55
Figura 45. Diseño tanque de fermentación.....	57
Figura 46. Levadura en el cono del fermentador.....	58
Figura 47. Pasteurizador en línea (flash) de cerveza.....	60
Figura 48. Control y esquema pasteurizador tipo túnel.....	61
Figura 49. Pasteurizador tipo túnel.....	61
Figura 50. Filtración de superficie.....	64
Figura 51. Filtración de profundidad.....	64
Figura 52. Filtro de masa.....	66
Figura 53. Filtro de placas.....	67
Figura 54. Filtro de módulos.....	67
Figura 55. Filtro de cartuchos de membrana.....	68
Figura 56. Carbonatador de cerveza.....	69
Figura 57. Equipo de carbonatación.....	70
Figura 58. Cabezal llenadora botellas.....	71
Figura 59. Etapas de llenado de botellas.....	73
Figura 60. Despaletizador de latas.....	75
Figura 61. Proceso de llenado de latas.....	77
Figura 62. Enjuague CIP.....	81
Figura 63. Recirculación sosa CIP.....	81
Figura 64. Enjuague CIP a agua recuperada.....	82
Figura 65. Recirculación ácido CIP.....	82
Figura 66. Aclarado con agua de red CIP.....	83

NOTACIÓN

%	Porcentaje
%vol	Porcentaje en volumen
CO ₂	Dióxido de carbono
O ₂	Oxígeno
ABV	Porcentaje de alcohol por volumen “Alcohol By Volume”.
Cell/mL	Células por mililitro
CIP	Cleaning in place
DMS	Sulfuro de dimetilo
EBC	Color de la cerveza “European Brewery Convention”.
ESF	Extracto seco final
ESP	Extracto seco primitivo
g/L	Gramos por litro
H+	Catión hidrógeno
HL/h	Hectólitros Hora
HL/HL	Hectólitros por hectólitros
IBU	Contenido en amargor “International Bitterness Units”.
Kcal	Kilocalorías
mg/L	Miligramos por litro
MillCel/mL	Millones de células por mililitro
Min	Minutos
MJ	Mega Julios
Mm	Milímetros
mS/cm	Mili Siemens por centímetro
N/A	No aplica
°C	Grados Celsius
OH-	Radical hidroxilo
°P	Grado plato
°P/día	Grados plato por día
P	Presión
pH	Potencial de hidrógeno, mide el grado de acidez o alcalinidad del agua
PVC	Policloruro de vinilo
PVPP	Polivinilpolipirrolidona
T	Temperatura
t/ha	Toneladas por hectárea
UP	Unidades de pasteurización

1. INTRODUCCIÓN A LA INDUSTRIA CERVECERA

1.1 Definición de la Cerveza.

La cerveza es una bebida compuesta por agua en más de un 90 %, además de malta, lúpulo y levadura. Presenta un sabor amargo y su contenido en alcohol procede de una fermentación alcohólica de levaduras, la cual se alimentan de los azúcares fermentables presentes en el mosto cervecero.

Existe gran variedad de cervezas, las cuales se clasifican según diferentes criterios como son:

- Ingredientes utilizados.
- Procesos de producción.
- Tipo de fermentación.
- Características finales de la cerveza.

1.2 Historia de la Cerveza.

La Cerveza es la bebida popular más antigua, los tres procesos bioquímicos los cuales intervienen en su fabricación, como son: la formación de enzimas en el grano de cereal germinante, la degradación de almidón a azúcar por parte de las enzimas y por último la fermentación del azúcar a alcohol y CO_2 , son conocidos desde hace miles de años, sin que se reconociera como estaban relacionados.

Estos conocimientos respecto a la fabricación de cerveza por parte del ser humano se remontan a tiempos prehistóricos. La mención más antigua de la cerveza se halla en una escritura cuneiforme del año 2800 a.C. en la Mesopotamia, la cual describe la distribución de una ración diaria de cerveza y pan a los trabajadores (Figura 1).



Figura 1. Producción de Cerveza en el Antiguo Egipto.

Muy tempranamente se supo que la cerveza estaba libre de gérmenes peligrosos y que además el agua, que frecuentemente no se encontraba en perfecto estado, podía ser tratada por medio de la fermentación y los ácidos naturales generados durante la misma. Debido a esto, durante muchos siglos no fue el agua, sino la cerveza, el líquido utilizado contra la sed. En las cervecerías de los monasterios se realizó luego el cambio a la Industria Cervecera, dado que ya no se fabricaba la cerveza solamente para el consumo propio, sino que se la entregaba contra pago.

En Alemania, las condiciones de fabricación en la Edad Media se diferenciaban mucho en el Norte y en el Sur. En el Norte en las ciudades de Bremen, Hamburgo o Einbeck, era un derecho cívico, mientras que en el Sur se produce paulatinamente en el siglo XIV el pasaje de la fabricación casera a la fabricación industrial de cerveza. En el siglo XV se afianza la posición industrial de cerveceros, pero estaba limitada, sobre todo en el Sur de Alemania, por innumerables disposiciones.

Las malas cosechas y otras circunstancias llevaron a veces, debido a la escasez de materia prima, a utilizar otras materias primas, diferentes a las usuales, se sustituía el lúpulo por hierbas amargas, se utilizaban también cereales primarios o avena barata. Para evitar todo ello se creó la Ley de Pureza Bávara, el “Reinheitsgebot” (Figura 2), firmada el 23 de abril de 1516 en el Congreso de Estados Provinciales en Ingolstadt, según la cual la cerveza sólo podía ser fabricada con malta de cebada, lúpulo, agua y levadura.



Figura 2. Extracto de la Ley de Pureza “Reinheitsgebot”.

En Alemania, la Ley de Pureza Bávara, el “Reinheitsgebot” era la ley dominante, pero los cerveceros estadounidenses percibieron ya en los años 60 y 70 del siglo XIX la ventaja económica en la utilización de harina de maíz o sémola de arroz. Por medio de la mejora de la técnica y la tecnología del procesamiento del grano crudo, se creó un nuevo tipo de cerveza. En EE. UU. La fabricación de cerveza sufrió un duro golpe debido a la prohibición alcohólica (Ley Seca) en 1919, las fábricas en ese momento sólo podían mantenerse a flote debido a la “cerveza nutritiva”. Esta ley fue revocada en 1933 ya que su resultado fue muy negativo aumentando la criminalidad y el contrabando de bebidas. (*Tecnología para malteros y cerveceros, Wolfgang Kunze, 2006.*)

1.3 Ingredientes

Los 4 ingredientes presentes en la fabricación de la cerveza son: cebada, lúpulo, agua y levadura. El agua es el ingrediente usado en mayor proporción el cual tiene una gran influencia en la calidad del producto final. La cebada es el ingrediente principal para la fabricación de la cerveza. El lúpulo aporta el sabor y amargor a la cerveza y tiene una gran influencia en el aroma. Por último la levadura es la encargada de llegar a cabo la fermentación alcohólica.

- Agua

El agua es la materia prima usada en mayor proporción en la elaboración de cerveza (Figura 3), aunque sólo una parte es destinada para la fabricación del producto final, la parte mayoritaria es utilizada para procesos de limpieza y enjuagues.



Figura 3. Agua.

El tratamiento del agua es imprescindible en la industria cervecera puesto la calidad del agua es de gran influencia en la calidad del producto final.

- Características físico-químicas del agua.

Estas características están condicionadas por los iones que contienen, derivados de la ionización de sales y su comportamiento.

- Actividad de los iones.

En el agua, ingrediente mayoritario en la obtención del mosto cervecero, se encuentran dos tipos de iones, los iones activos e inactivos en función de su interacción con la malta y su posible influencia en el cambio de pH.

Los iones activos proceden de las sales de calcio y magnesio, se valoran como dureza del agua, en cambio los iones inactivos proceden de sales de sodio y potasio.

- Dureza del agua.

La aportan las sales de calcio y magnesio, influyen en la dificultad de formar espuma (a mayor dureza, menos espuma).

La dureza temporal se debe a los carbonatos y bicarbonatos, destaca el carbonato cálcico ($CaCO_3$), que representa el 90 % de las sales del agua. Por otro lado la dureza permanente se debe al resto de sales de calcio y magnesio, básicamente sulfatos, cloruros y nitratos.

La dureza total es la suma de ambas y su valoración se expresa en contenido equivalente de $CaCO_3$, en mg/l (ppm).

- Valor de pH.

Depende del equilibrio de iones H^+ y OH^- , junto al contenido de los diferentes iones en el agua y su reacción para generar los iones indicados.

Este valor de pH está asociado a la cantidad de sales que forman la dureza del agua, por un lado la dureza temporal aumenta el pH y la dureza permanente lo reduce.

- pH < 7, agua blanda.
- pH = 7, predomina dureza permanente.
- pH > 7, predomina dureza temporal.

- Cloro del agua.

Para que el agua sea apta para el consumo humano debe ser desinfectada mediante la cloración, añadiendo compuestos de cloro (hipocloritos, dióxidos de cloro...), para alcanzar un nivel de cloro residual libre entre 0.2 y 1 mg/L de agua y asegurarse que se encuentra desinfectada. También es frecuente la desinfección mediante la adición de cloro mezclado con amoníaco, denominado cloraminación, esta desinfección se valora por el cloro

residual combinado cuyos valores deben estar entre 0.5 y 2 mg/L de agua.

- **Consumo de agua en una fábrica de Cerveza.**

Obligados por los aumentos de los costes del agua para la fabricación de la cerveza, las fábricas se han visto obligadas a reducir el consumo de agua. Según el tipo de fábrica el consumo de agua por cerveza lista para el consumo oscila entre 5-8 hl/hl. Según la sección en la planta, el consumo de agua es diferente (Tabla 1). (*Water: A comprehensive guide for brewers, John J. Palmer, 2013*)

Sección de la Planta	Consumo de Agua en hl/hl de cerveza lista para venta
Cocimiento	1,80-2,20
Fermentación y Tratamiento de Levadura	0,50-0,80
Maduración	0,30-0,60
Filtración	0,10-0,50
Envasado (Botellas)	0,90-2,10
Envasado (Barriles)	0,08-0,24
Limpiezas	1,00-3,00
Calderas de Vapor	0,10-0,30
Compresores de Aire	0,12-0,50
Consumo total de agua	4,90-12,64

Tabla 1. Consumo de Agua según Sección en la Planta.

El coste de agua actual promedio en España es de 1,91 €/m³ y dado que se requiere mucha agua en la fabricación de cerveza, el agua se ha convertido en un importante coste, debido a ello el interés de reducir el consumo tanto como sea posible, al igual que la escasez de agua en algunas regiones.

- **Requisitos que debe cumplir el agua como agua para cerveza.**

El primer requisito por cumplir es que el agua sea potable, la cual requiere que sea incolora, inodora y libre de sustancias que produzcan turbidez, además de no superar unos ciertos valores límites de sales disueltas en el agua (Tabla 2).

Parámetro	Valor límite mg/L
Nitrato	50
Nitrito	0,5
Plomo	0,01
Cobre	2
Níquel	0,02
Productos pesticidas y biocidas	0,0001
Benceno	0,001

Tabla 2. Valores límite Agua.

En el agua siempre hay sales disueltas, muy diluidas, por lo que no están presentes como sales sino como iones disueltos. La mayoría no reaccionan con los componentes de la malta en la maceración, en cambio hay algunos que sí reaccionan.

- Iones químicamente inactivos, son aquellos que no forman reacción química con los componentes de la malta, pasan sin alterar a la cerveza, aunque si están en grandes cantidades pueden alterar el sabor de la cerveza. Son iones inactivos el Cloruro de Sodio (NaCl), el Cloruro de Potasio (KCl), el Sulfato de Sodio (Na₂SO₄) ...
- Iones químicamente activos, al contrario que los anteriores, sí forman reacción química al mantener contacto con la malta durante la maceración, modificando el valor del pH durante la producción.
- Influencia de los iones sobre el valor de pH, durante la elaboración de cerveza el pH tiene gran influencia sobre procesos como la maceración, lavado del grano. Las enzimas trabajan de manera óptima a un determinado pH, bajando su rendimiento a un pH distinto. Debido a los iones activos, el pH durante la fabricación de la cerveza es modificado en dirección ácida o alcalina. La mayoría de los procesos de fabricación de cerveza se llevan a cabo cuanto más ácido es el pH, por eso se debe llevar a un valor tan bajo como sea posible.

- Desgasificación del agua (Obtención de Agua Desaireada).

El agua tiene gran cantidad de oxígeno disuelto en ella, este oxígeno deteriora la calidad de la cerveza y empeora su estabilidad, haciendo que envejezca antes de tiempo, por ello se pueden llevar a cabo alguno de estos procesos y conseguir agua desaireada, la cual al estar en contacto con la cerveza no modificaría su calidad.

- Desgasificación por lavado con CO₂, (Stripping de CO₂), el agua fluye de manera descendente, mientras que a contracorriente asciende una corriente de CO₂ libre de oxígeno, el oxígeno en el agua se elimina gracias a las grandes superficies de transferencia de masa, por medio de la gran cantidad de CO₂ inyectado (Figura 4). Es la más utilizada frecuentemente en las industrias cerveceras, se caracteriza por una alta fiabilidad operativa, funcionamiento sencillo e inversiones reducidas, además el único suministro necesario para el equipo es el dióxido de carbono, un producto en abundancia en estas industrias.



Figura 4. Eliminación del O_2 en el agua.

- Desgasificación por vacío, el agua es atomizada en un recipiente a vacío.
- Reducción por hidrógeno, al añadir hidrógeno, el oxígeno contenido en el agua reacciona con el hidrógeno formando agua, para que este proceso se lleve a cabo la reacción necesita un catalizador de paladio.
- Desgasificación térmica, el agua se calienta a 85°C , y posteriormente esta agua calentada se pulveriza, de tal manera que el aire es liberado con vapor.
- Desgasificación con membranas de fibra hueca (Figura 5), membranas de unas 30000 fibras huecas de en torno a 68 cm de longitud son las encargadas de realizar esta desgasificación. Las fibras huecas tienen un diámetro de 300 micras y poros de 0,05 micras, por exterior circula el agua a desgasificar y por el interior el ácido carbónico libre de oxígeno. La diferencia de concentración entre el dióxido de carbono y el agua es la fuerza impulsora, la cual extrae el oxígeno de las fibras huecas.

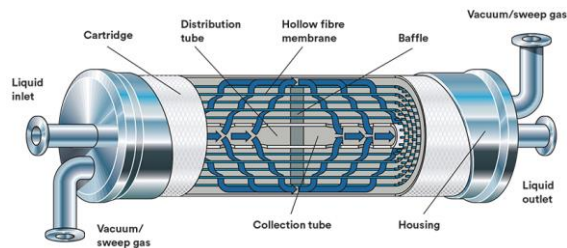


Figura 5. Desgasificación con membranas de fibra hueca.

- Malta

La malta (Figura 6) es el producto final obtenido gracias a los granos de cebada u otros cereales, después del proceso de malteado. El proceso del malteado se divide en etapas como son: remojar el grano, secarlo y tostar el grano en condiciones ambientales adecuadas.



Figura 6. Granos de Malta.

- **Tipos de Cebada.**

Se pueden diferenciar dos tipos de cebadas, la cebada de invierno o cebada invernal, la cual es sembrada a mediados de septiembre y la cebada de verano o cebada estival, sembrada de marzo a abril. Ambas pueden ser clasificadas en cebadas de dos hileras o cebadas de seis hileras (Figura 8).

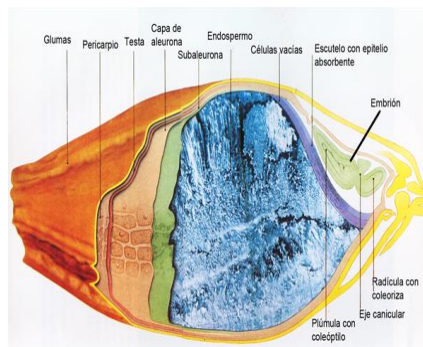


Figura 7. Estructura grano de cebada.

- Cebadas de dos hileras, los granos son uniformes, grandes e hinchados y con una cáscara arrugada y delgada, por lo que esta cebada tiene mayor contenido de extracto y menos taninos debido a su delgada cáscara. Esta cebada es la usualmente cultivada en verano y por lo tanto la más beneficiosa para la fabricación de cerveza. El rendimiento de esta cebada está en torno a 4 t/ha.
- Cebada de seis hileras, los granos no son uniformes ya que no tienen suficiente lugar para su crecimiento, además los granos son delgados. Esta cebada presenta un mayor contenido de cáscara, por lo que aporta una mayor cantidad de proteínas de bajo peso molecular y polifenoles algo nada beneficioso en la fabricación de cerveza. En cambio el rendimiento de esta cebada es un poco mayor a la anterior, en torno a 6 t/ha.



Figura 8. Cebada de 2 y 6 Hileras.

- Composición del grano de cebada.

En una valoración analítica para obtener la composición química de los granos de cebada “secos” se obtienen los siguientes resultados:

- Agua: 13-15 %
- Hidratos de carbono: 70-85 %
 - ✓ Almidón: 50-65 %
 - ✓ Hemicelulosas (beta-glucanos): 4-10 %
 - ✓ Celulosa: 5-6 %
 - ✓ Azúcares simples: 1,8-2 %
- Proteínas: 9,5-11,5 %
- Lípidos: 1,5-2 %
- Otros compuestos orgánicos (vitaminas, polifenoles...): 1-2 %

Los **hidratos de carbono** son el grupo mayoritario en la composición del grano de cebada y por ello uno de los más relevantes en la calidad del producto final. Son importantes, el **almidón** ($C_6H_{10}O_5$), es metabolizado como reservorio de energía por parte del embrión en la primera fase de crecimiento hasta que se asegure la producción propia de energía. Las **hemicelulosas** forman las paredes celulares del endospermo, compuestas por beta-glucanos en un 90%, son cadenas largas de moléculas de glucosa, la degradación de estos en el malteado es un punto crítico en la elaboración de cerveza, ya que una mala degradación puede repercutir negativamente sobre la calidad del producto final. La **celulosa** se encuentra en la cáscara y su función es estructural.

Las **proteínas** se encuentran en las paredes celulares del endospermo y se encargan de regular el metabolismo, tienen una gran influencia en la calidad final de la cerveza, mayoritariamente ayudando a la estabilidad final de la espuma, aunque también pueden estar implicadas en la formación de turbidez de la cerveza.

Las **grasas** se encuentran principalmente en la capa de aleurona y en el embrión, los ácidos grasos no saturados son muy reactivos. Los ácidos grasos de cadena media se forman en la fermentación principal y son eliminados durante la maduración de la cerveza, tienen un efecto negativo sobre la espuma.

- Lúpulo.

El lúpulo es una planta perenne, trepadora, dioica, responsable de aportarle el amargor a la cerveza (Figura 9). En una fábrica de cerveza solo se utilizan las inflorescencias de las plantas femeninas, estas contienen las resinas amargas responsables de aportarle a la cerveza los toques amargos y aromáticos. (*For the love of hops, Stan Hieronymus, 2012*)



Figura 9. Lúpulo.

Luego de la cosecha, el lúpulo es secado y procesado para su almacenamiento. La cosecha se realiza en un momento de madurez técnica, en torno a Agosto – Septiembre, y finalizada dentro de los 14 días un vez comenzada. Una vez cosechado el lúpulo, contiene entre un 75-80 % de agua por lo que no es apto para su almacenaje, y se seca inmediatamente. El lúpulo se seca a 50 °C, hasta alcanzar un contenido de entorno 8-12 % de agua, y finalmente se compacta en los diferentes formatos. Debido a la degradación de algunos compuestos del lúpulo su conservación es un punto muy crítico y hay que ajustarse a indicaciones para su buena conservación (temperatura, exposición, tiempo máximo de consumo), una vez abierto un paquete de lúpulo sea en el formato que sea el producto debe consumirse en pocos días. La mayor parte de la cosecha se transforma en pellets y extracto, y una menor parte como lúpulo natural. En todos los casos, desde la cosecha hasta el procesamiento el lúpulo se debe proteger contra el deterioro. El lúpulo se presenta en diferentes formatos (Figura 10), como son:

- Lúpulo Flor. Formado por las inflorescencias secas del lúpulo, se utiliza poco por el volumen que ocupa. Los conos secos se pueden presentar en su estado natural o prensados para reducir en parte su volumen.
- Pellets de lúpulo. Por su fácil manejo, transporte y adicción es una de las formas más utilizadas del lúpulo. Se fabrica a partir de los conos secos de lúpulo los cuales se muelen y posteriormente se paletizan, se presentan como pequeños cilindros de alta densidad.
- Extracto de lúpulo. Son preparados obtenidos a partir de la flor, polvo o pellets de lúpulo, utilizando disolventes como el etanol. El producto obtenido se presenta como un líquido viscoso entre amarillo y verde. Este extracto mantiene una buena estabilidad con el tiempo y puede conservarse largos periodos de tiempo si se encuentra correctamente envasado.



Figura 10. Formatos de lúpulo.

- **Composición del lúpulo.**

La composición de lúpulo al igual que la de todos los ingredientes que forman la cerveza, tiene una gran influencia en la calidad final de la cerveza, el lúpulo está compuesto por:

- Celulosa: 40 - 50 %
- Aceites esenciales: 0,5 %
- Taninos: 3,5 %
- Proteínas: 15 %
- Ácidos alpha: 2 - 20 %
- Agua: 5 - 10 %

En cuanto a los **compuestos amargos**, las plantas de lúpulo forman beta-ácidos poco amargos, generado por las glándulas de lupulina en el proceso de formación. Al cabo de un tiempo, en la fase de maduración, los beta-ácidos son transformados a Alpha-ácidos, notablemente con más amargor.

Durante el proceso de cocción de la cerveza, el **aceite de lúpulo** se volatiliza de manera progresiva, para conservar una parte del aceite de lúpulo aromático, se adiciona más tarde en las elaboraciones de cerveza en las que se pone énfasis en un sabor y aroma más intensificado del lúpulo.

El lúpulo contiene una pequeña parte de **taninos**, los cuales tienen algunas propiedades negativas para el producto final como son, la formación de turbidez en la cerveza y pequeños cambios de color y sabor finales.

- **Variedades de lúpulo.**

Existen numerosos tipos de lúpulos, pueden clasificarse en tres variedades diferentes:

- Aromáticos. Se distinguen por un gran aroma de lúpulo. A pesar de su pequeña proporción de Alpha-ácidos su precio es elevado, se encuentran dentro de esta variedad: Saazer, Tettnanger, Perle... Su un contenido de Alpha-ácidos en torno a un 4 - 7 %.
- Amargos. Las variedades amargas se distinguen por su contenido en Alpha-ácidos en torno a 7 - 9 %, como son: Brewers Gold, Northern Brewer...
- Muy amargos. Son variedades amargas con un contenido de Alpha-ácidos alto en torno a un 15 %, como son: Nugget, Target...

- **Momento de empleo.**

El momento del empleo del lúpulo en la fabricación de la cerveza varía según el tipo de lúpulo que se utilice, e interviene en la cantidad de aroma, sabor y amargor resultante en la cerveza al final de su producción (Figura 11).

Para producir el amargor el lúpulo necesita isomerizar los α -ácidos, a mayor ebullición en el proceso de hervido, mayor será esta isomerización y por lo tanto mayor amargor en el producto final.

Por otro lado, en cuanto a la cantidad de aroma y sabor en la cerveza, el encargado de generarlos son los aceites esenciales. Al contrario que con el amargor, estos llegan a un punto en el que a medida que pasan los minutos de hervido comienzan a disminuir las cantidades aportadas al producto final.

En la actualidad, también se puede añadir el lúpulo en la etapa de maduración en frío, técnica conocida como dry hopping. Se utiliza con lúpulos florales permitiendo acentuar los sabores aromáticos sin incrementar la intensidad de amargor obtenida en caliente.

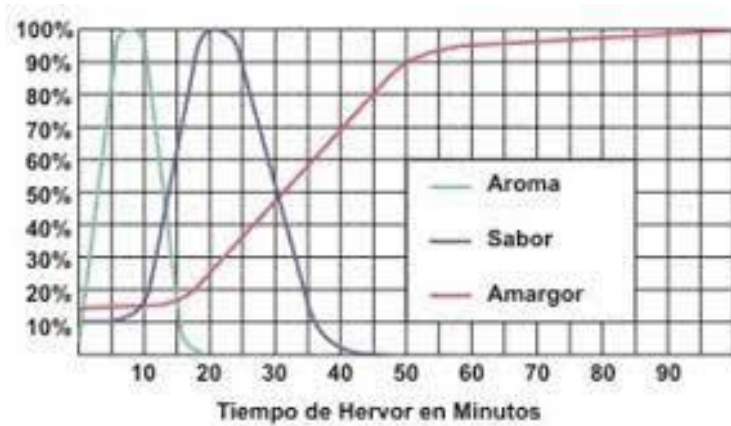


Figura 11. Tiempo de hervor del lúpulo.

- Levadura.

La levadura es la responsable de la transformación del mosto cervecero después del paso por cocimiento a cerveza por transformación de los azúcares fermentables encontrados en el mosto a alcohol etílico o etanol. Para ello, en una fábrica de cerveza se utiliza la levadura denominada *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 12).

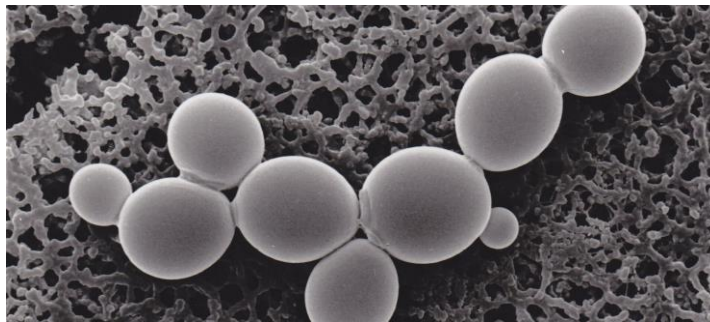


Figura 12. Levadura

Puesto que la levadura no solo realiza esta transformación sino que también tiene una gran influencia en el sabor y carácter de la cerveza, se debe conocer los componentes que forman la levadura.

La célula de levadura está compuesta en un 75 % de agua, además el resto que es materia seca lo forman:

- Sustancias albuminoideas: 45 – 60 %
- Hidratos de carbono: 25-35 %
- Grasas: 4-7 %
- Sustancias minerales: 6-9 %

Además de los compuestos mencionados anteriormente, la levadura es rica en nutrientes como: vitamina B, potasio, hierro, zinc, cromo y magnesio.

- Reproducción y Crecimiento de Levaduras.

La forma típica de la reproducción y crecimiento de las levaduras es la gemación. Si se transfieren microorganismos a una solución nutritiva fresca, como se lleva a cabo en una fábrica de cerveza, en el inicio de la fermentación del mosto con la levadura, estos comienzan a crecer. El crecimiento no se desarrolla a una velocidad constante sino que ocurre en seis fases diferentes (Figura 13). La duración e intensidad de cada fase depende del sustrato, temperatura y estado de la levadura.

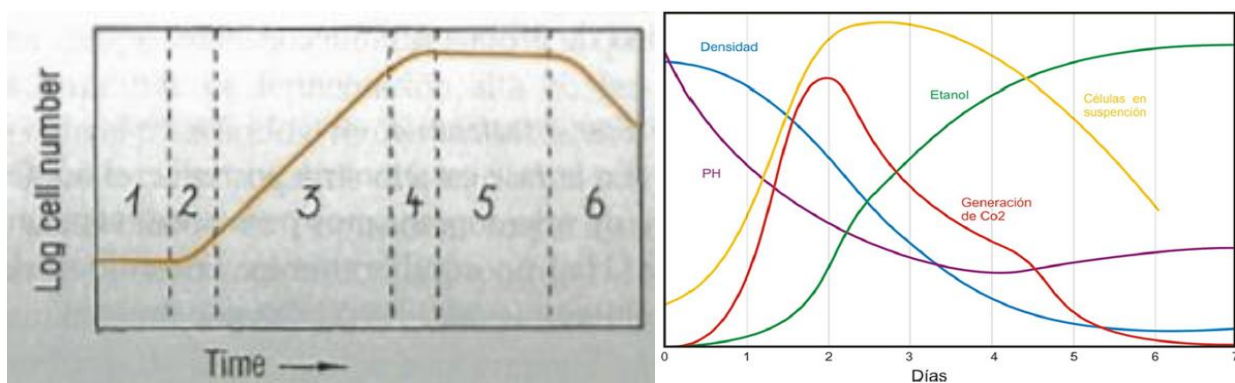


Figura 13. Fases de crecimiento de la levadura.

- (1) Fase de latencia. Tiene lugar la activación del metabolismo, dependiendo del tipo de organismo, edad de cultivo y las condiciones la duración de esta fase varía mucho. La fase de latencia termina con la primera división celular.
- (2) Fase de aceleración. Aumenta progresivamente la velocidad de división.
- (3) Fase exponencial. En esta fase la velocidad es constante y máxima. El tiempo en el que se duplica el número de células alcanza un mínimo en esta fase, la levadura tiene su máxima vitalidad.
- (4) Fase de deceleración. La fase exponencial está limitada debido al empobrecimiento del sustrato de nutrientes o aumento de productos metabólicos que inhiben el crecimiento, por ello pasa a una fase de deceleración con velocidad decreciente.
- (5) Fase estacionaria. El número de microorganismos permanece constante, hay un equilibrio entre la cantidad de células nuevas y células que van muriendo.
- (6) Fase declinante. En esta fase, mueren más células que las que se crean nuevas, de tal forma que disminuye el número de células.

- Tipos de levaduras.

En la naturaleza existen multitud de levaduras, estas presentan una gran diversidad, con diferentes adaptaciones y actividad. En la elaboración de cerveza se utilizan básicamente dos tipos de levaduras (Figura 14) pertenecientes al género *Saccharomyces*:

- *Saccharomyces cerevisiae*. Es la levadura utilizada en cervezas de fermentación alta. Cuando inicia su actividad, las células se desplazan hasta la superficie del mosto, que junto al CO_2 desprendido durante la fermentación forma una gran capa de espuma, manteniéndose hasta el final de la fermentación alcohólica.
- *Saccharomyces pastorianus* o *Saccharomyces carlsbergensis*. Es la levadura utilizada en cervezas de fermentación baja. Cuando inicia su actividad, las células precipitan al fondo del fermentador. En la superficie del mosto se crea una pequeña capa de espuma.

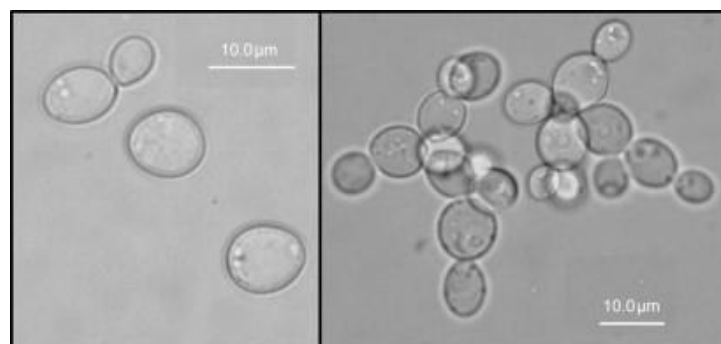


Figura 14. *Saccharomyces pastorianus* y *Saccharomyces cerevisiae*

Las diferencias más notables entre ambas especies son (Tabla 3):

	Fermentación Alta	Fermentación Baja
Presentación de las células	Colonias en cadena	Individuales
Temperatura de fermentación	14 – 25 °C	4 – 14 °C
Incremento de volumen por la espuma sobre el mosto	40 – 50 %	18 – 25 %
Ciclos de cosecha de levadura	5 a 15	1 a 6
Capacidad de formación de esporas	Abundantes	Muy baja
Cantidad de células inicio fermentación	10 – 15 *10e6 cell/mL	15 – 30 *10e6 cell/mL
Presencia sobre la superficie del mosto	Toda la fermentación	Inicio de la fermentación
Aportación LSA al mosto (g/hl)	25 – 50	60 – 80
Aportación levadura espesa (ml/hl)	500	600 – 1000

Tabla 3. Diferencias especies levaduras.

- **Adjuntos.**

Se llaman adjuntos a los productos no malteados que pueden añadir en algún momento en el proceso de elaboración del mosto cervecero, para aportar azúcares a este. Principalmente se utilizan para reducir los costes de producción (por unidad de azúcar fermentable incorporada al mosto cervecero) o para aportar alguna característica a la cerveza que no es posible con la malta. Se maceran en calderas separadas a la de la malta, puesto necesitan temperaturas más altas para llegar a la temperatura de gelatinización, en el caso del arroz en torno a 93 – 95 °C y en caso del maíz 82 – 84 °C y a esas temperaturas las enzimas de la malta se encuentran desactivadas. Algunos de los adjuntos utilizados son:

- Arroz. Es uno de los adjuntos más empleados en la industria cervecera debido a su alto rendimiento. Contiene gran cantidad de almidón, produciendo cervezas suaves y secas.

- Maíz. Al igual que el arroz es de los adjuntos más empleados, sobre todo en cervezas tipo Pilsen. Se pueden añadir en el macerado en forma de copos o en sémola que es añadido en la molienda. Produce cervezas claras, gracias a su gran capacidad de clarificación de la cerveza.
- Trigo. Se añade al macerado, se suele emplear en cervezas turbias con sabor a grano crudo.
- Avena. No contiene grandes cantidades de almidón, se emplean en cervezas en las que se busque un toque de suavidad como son las Stout.

1.4 Clasificación de Cervezas.

En la actualidad, existen numerosas variedades de cerveza (Figura 15) ya que existen una amplia variedad de ingredientes que utilizar, distintos procesos de elaboración...

Además existen también numerosos criterios para llevar a cabo su clasificación, como son: el tipo de levadura empleada (ale, lager), país de origen (Belgian, German, English-British, Russian, American, Baltic, Pilsen, Czech, Irish, Vienna, Berliner, Lambic...), el color o aspecto (pale, amber, blonde, Golden, red, Brown, helles, dunkel...), el gusto o carácter (light, strong, stout, dubbel, tripel, old, bitter, fruit, sour, salt...), ingredientes (pilsner, wheat, rye...), e incluso fecha para consumo (saison, Oktoberfest...).

Para cada estilo se establecen parámetros básicos para llevar a cabo la clasificación:

- Color, valorado en “EBC” (European Brewery Convention).
- Contenido en amargor, valorado en “IBU” (International Bitterness Units).
- Contenido en alcohol, valorado en % en alcohol o “ABV” (Alcohol By Volume).
- Densidades, valorado en “ESP” o “ESF” (Extracto Seco Primitivo o Final).

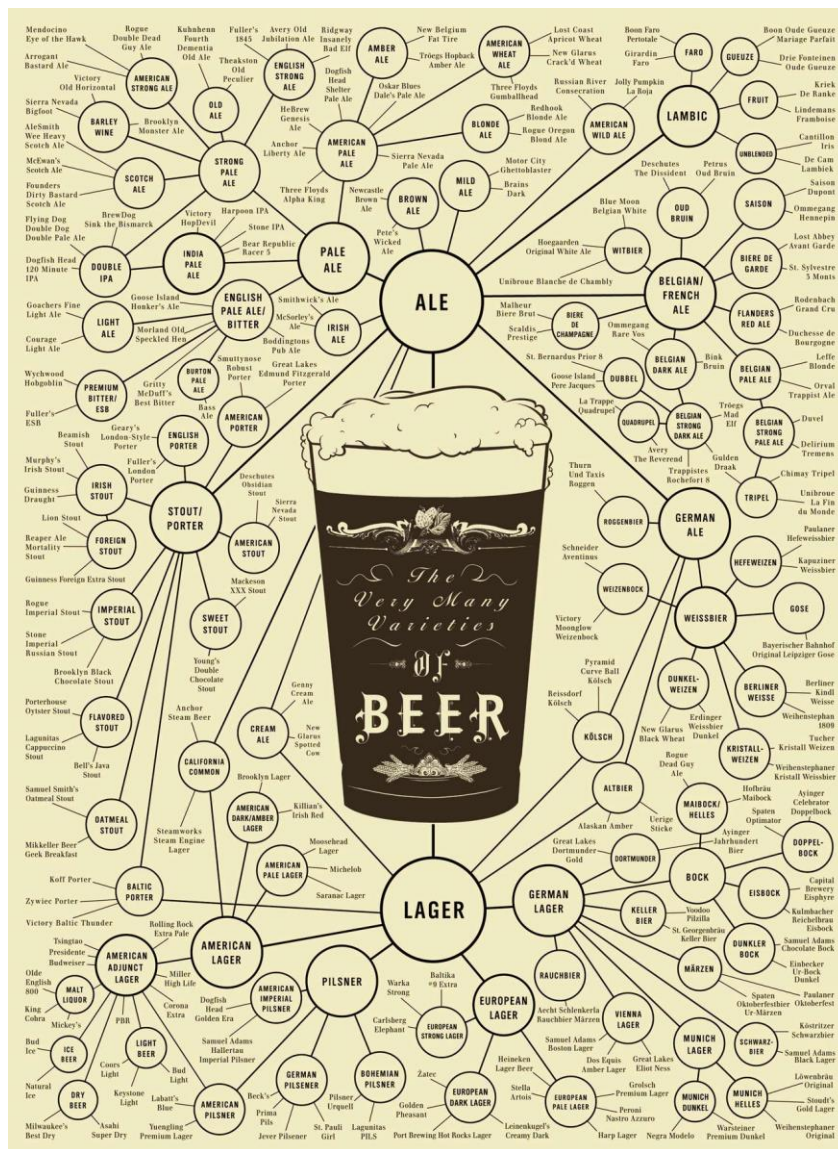


Figura 15. Estilos de Cervezas.

Clasificar los tipos de cervezas según el tipo de levadura empleada o la fermentación llevada a cabo, es una de las más utilizadas en el mundo cervecero, “Cervezas de fermentación alta (Ale), “Cervezas de fermentación baja (Lager)” o “Cervezas de fermentación espontánea”.

- Cervezas de fermentación alta (Ale) (Tabla 4). La levadura de la fermentación alta se caracteriza por ser desplazada hacia la parte superior de los tanques de fermentación por el dióxido de carbono, pudiéndose cosechar allí.

Familia	Denominación	ABV (%vol)	Amargor (IBU)	Densidades (g/L)		Color (EBC)
				ESP	ESF	
Pale Ale	Blonde Ale American	3,8 – 5,5	15 – 28	1038 – 1054	1008 – 1013	6 – 12
	Saison Ale	5 – 7	20 – 35	1048 – 1065	1002 – 1008	10 – 45
IPA	IPA English	5 – 7,5	40 – 60	1050 – 1075	1010 – 1018	12 – 28
	IPA American	5,5 – 7,5	40 – 70	1056 – 1070	1008 – 1014	12 – 28
Amber-Red	Amber Ale American	4,5 – 6,2	25 – 40	1045 – 1060	1010 – 1015	20 – 34
	Red Ale Irish	3,8 – 5	8 – 28	1036 – 1046	1010 – 1014	18 – 28
Porter-Stout	Stout American	5 – 7	35 – 75	1050 – 1075	1010 – 1022	60 – 79
	Imperial Stout	8 – 12	50 – 90	1075 – 1115	1018 – 1030	60 – 79
Abbey	Dubbel	6 – 7,6	15 – 25	1062 – 1075	1008 – 1018	20 – 34
	Tripel Belgian	7,5 – 9,5	20 – 40	1075 – 1085	1008 – 1014	9 – 14
Rye Beer	Berliner Weisse	2,8 – 3,8	3 – 8	1028 – 1032	1003 – 1006	4 – 6
	Rye American	4 – 5,5	15 – 30	1040 – 1055	1008 – 1013	6 – 12

Tabla 4. Estilos de cervezas Ale

- Cervezas de fermentación baja (Lager) (Tabla 5). Las levaduras de las cervezas fermentadas en frío se depositan en la zona baja del tanque, por lo general las cervezas de fermentación baja, tienen aromas limpios y un marcado punto carbónico. La cosecha de estas levaduras se realiza por la parte inferior de los tanques de fermentación.

Familia	Denominación	ABV (%vol)	Amargor (IBU)	Densidades (g/L)		Color (EBC)
				ESP	ESF	
Lager/Pilsner	Pilsner German	4,4 – 5,2	22 – 40	1044 – 1050	1008 – 1013	4 – 10
	Helles Munich	4,7 – 5,4	16 – 22	1044 – 1048	1006 – 1012	6 – 10
Amber Lager	Lager Vienna	4,7 – 5,5	18 – 30	1048 – 1055	1010 – 1014	18 – 30
Dark Lager	Dark Lager International	4,2 – 6	8 – 20	1044 – 1056	1008 – 1012	28 – 44
Bock	HellesBock	6,3 – 7,4	23 – 35	1064 – 1072	1011 – 1019	12 – 44

Tabla 5. Estilos de cervezas Lager.

- Cervezas de fermentación espontánea (Tabla 6). Se diferencian por no utilizar para su fermentación cepas seleccionadas de levadura. El resultado depende de microorganismos (hongos o bacterias) desarrolladas de forma espontánea, suelen transmitir a la cerveza un sabor ácido característico.

Familia	Denominación	ABV (%vol)	Amargor (IBU)	Densidades (g/L)		Color (EBC)
				ESP	ESF	
Wild Fermented	Fruir Lambic	5 – 6,5	0 – 10	1040 – 1060	1000 – 1006	6 – 14

Tabla 6. Estilos de cervezas de fermentación espontánea.

1.5 Fabricantes de Cerveza en España.

Actualmente, España cuenta con numerosas fábricas de Cerveza. La fabricación de cervezas en España ha aumentado en un 10 % respecto al año anterior, situando a España como el tercer mayor productor de cervezas de Europa solo por detrás de Alemania y Polonia.

Las cerveceras españolas produjeron el año pasado 3.662 millones de litros de cerveza, 344.000 más que en 2020. Lo que equivale a una producción final de en torno a 80 litros por habitante. (*Informe socio-económico del sector de la cerveza en España 2020*).

En 2021, el ranking de fabricantes de Cervezas era el siguiente (Tabla 7):

Empresa	Centros productivos	Volumen (Mill. Litros)		Facturación (Mill. €)		Marcas elaboradoras
		2020	2021	2020	2021	
Grupo Mahou – San Miguel	Alovera, Lleida, Málaga, Burgos, Granada, Córdoba.	1.350	1.470	1.252,8	1.472,2	Mahou, San Miguel, Alhambra,
Grupo Damm	Prat de Llobregat, Murcia y Valencia.	1.060	1.200	1.208,4	1.488	Estrella Damm, Voll-Damm, Estrella de Levante, Carlsberg.
Grupo Heineken España	Sevilla, Jaén, San Sebastián de los Reyes y Valencia.	950	1.000	747,8	850	Heineken, Cruzcampo, Amstel, Alcázar...
Hijos de Rivera	A Coruña	341	436	479,1	610,4	Estrella Galicia.
Cervecería de Canarias	Canarias	90	100	114,6	130	Dorada, Stella Artois, Tropical.
Grupo Ágora	Zaragoza, Barcelona	73,8	80	127,7	83,9	Ambar, Moritz
La Sagra Brew	Numancia	2,7	4,5	4,5	8,5	La Sagra
La Salve Bilbao	Bilbao	1,2	2,0	1,5	1,6	La Salve
Cervezas Gran Vía	Alcalá de Guadaíra (Sevilla)	-	1,5	-	2	Gran Vía

Tabla 7. Ranking de fabricantes de Cervezas en España.

2. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo principal del proyecto es realizar una recopilación y estudio de cada una de las diferentes operaciones que requiere la elaboración de cerveza en una planta industrial, desde el inicio del malteado hasta el embotellado o embotellado final, basándose en el conocimiento y experiencia adquirida en la Industria cervecera, así como en las referencias bibliográficas.

Se ha realizado introducción a la cerveza así como un repaso de las diferentes materias primas que intervienen en su fabricación. Seguidamente se entra en detalle en el malteado de la cebada, realizado en las malterías, para justo después entrar de lleno en el cocimiento y elaboración, pasando por el macerado, filtrado, hervido, whirlpool y finalmente el enfriado del mosto.

Una vez acabada la parte de cocimiento, la siguiente etapa será la de fermentación alcohólica, se explicarán todos los procesos asociados a esta etapa así como los tiempos de operación requeridos.

Una vez acabadas las operaciones de elaboración en bodega, se entra en las operaciones de trasvase o guarda de cerveza con la adición de estabilizantes, junto con la operación de filtración entrando en los diferentes tipos de filtros más comunes en la industria cervecera.

Por último se abordará en detalle en el proceso de pasteurización y embotellado o embotellado del producto final, detallando además la operación de limpieza utilizada en toda las fábricas de cerveza, igual de importante que cualquier otra para evitar temas de contaminaciones muy presentes en esta industria.

3. OPERACIONES BÁSICAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA

La elaboración del mosto cervecero consta de una serie de etapas, comenzando con el malteado de la malta en las malterías, recepción y macerado del grano con el agua, filtrado y evacuación del bagazo, cocción del mosto, whirlpool y eliminación del trub caliente y enfriamiento del mosto cervecero para el envío a bodega.

3.1 Malteado.

La fabricación de la malta de cebada es el primer paso para la fabricación de la cerveza, consta de una serie de tratamientos antes de mandar la malta de cebada a las Industrias Cerveceras (Figura 16).

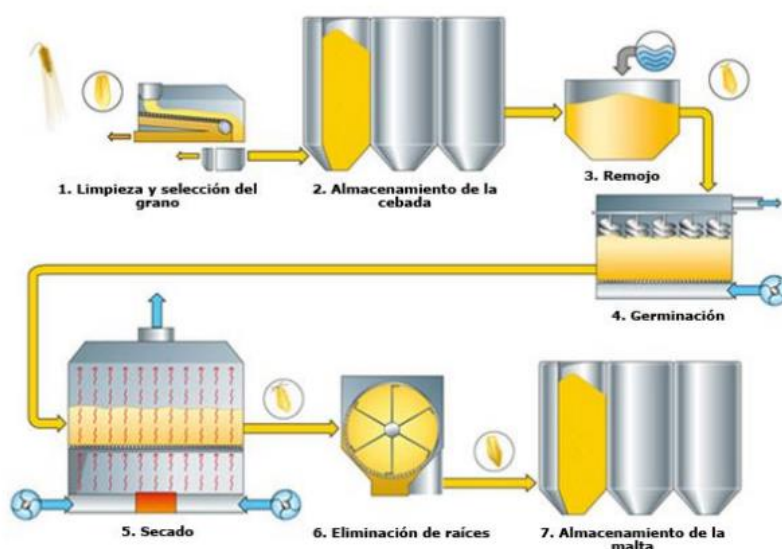


Figura 16. Proceso del malteado.

3.1.1 Limpieza y clasificación.

La cebada es entregada en las malterías donde en primer lugar se realiza una limpieza principal, teniendo especial atención a:

- La eliminación de los contaminantes presentes, los cuales no sean malteables.
- La eliminación de semillas que reduzcan la calidad de la malta.
- La clasificación de granos de igual tamaño., según las siguientes etapas:
 - Separación de suciedades bastas.
 - Separación de granos extraños.
 - Separación de piezas metálicas (tornillos, clavos).
 - Separación de arena o piedras.
 - Separación de granos extraños o rotos.

Para la obtención de estos tres requisitos, las plantas de malterías deben contar con líneas de limpieza y clasificación del grano de cebada.

La cebada está ahora compuesta por granos de cebada de tamaños diferentes. Los granos grandes contienen más almidón que los pequeños por lo que se prefiere realizar la producción de cerveza con los primeros. Aunque en el remojo, los granos de menor dimensión absorben más rápido el agua que los grandes, por lo que la malta sería de una calidad irregular si no se separasen.

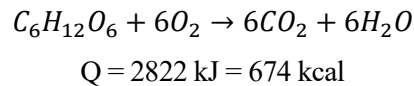
Por ello la cebada es clasificada por tamices de 2,2 y 2,25 mm de tamaño de luz en fracciones de grano de igual tamaño, para obtener una malta uniforme. Se divide en 3 fracciones:

- Fracción 1, Primera variedad o cebada de granos bien llenos. Esta fracción es retenida por el tamiz de 2,5 mm, compuesta por granos grandes e hinchados. Es la variedad que aporta un mayor rendimiento a la fabricación y por lo tanto la de más calidad.
- Fracción 2, Segunda variedad o cebada industrial. Esta variedad pasa a través del tamiz de 2,5 mm pero queda retenida en el de 2,2 mm. Tiene un rendimiento y coste menor.
- Borra. Son los granos que pasan a través del tamiz de 2,2 mm. Son granos pequeños y con bajo rendimiento, no son utilizados en la industria cervecera.

3.1.2 Secado y almacenamiento de la cebada.

La cebada una vez que llega no es malteada inmediatamente, sino que es almacenada. Una vez acabada la cosecha que suele ser en torno a 6 – 8 semanas debe de pasar por un reposo vegetativo, compuesto por el reposo vegetativo fundamental en el que el embrión no germina y la sensibilidad al agua en el que la cebada alcanza su energía completa de germinación.

Durante el almacenamiento la cebada también respira por lo que debe ser aireada durante este periodo. En esta etapa se producen cambios químicos expresados mediante la siguiente fórmula:



Para llevar a cabo la reacción se requiere oxígeno por ello durante el almacenamiento la cebada es aireada, si por el contrario hay ausencia de oxígeno ocurre lo que se denomina la respiración intramolecular, produciendo alcanales y alcanoles llevando a la muerte del embrión. Durante la respiración, se consume almidón con la glucosa ($C_6H_{12}O_6$). Cuanto menos almidón se consuma en la respiración, menor será la merma en la producción de malta y mayor será el rendimiento de la maltería.

Según el grano, lugar y duración del tiempo de almacenamiento, las mermas de almacenamiento en porcentaje de la cantidad total almacenada del grano son (Tabla 8):

	Tipos de almacenamiento	Duración de almacenamiento (meses)		
		Hasta 3	De 3 a 6	Mayor a 6
Cebada	A granel sobre:			
	El suelo	1	2	3
	En silos	0,5	1	2
Trigo	A granel sobre:			
	El suelo	0,7	1,4	2,5
	En silos	0,6	1,2	2

Tabla 8. Mermas de almacenamiento en %.

Debido a que la cantidad de agua en la cebada varía desde el 20% al 12% según haya sido de lluvia el año de cosecha, antes de ser almacenada debe ser secada. Una cosecha en la que el grano alcance el 20 % de agua, hay que revisar con muestras representativas en las malterías antes de su almacenamiento si el grano se encuentra en buenas condiciones y no está infectado ni agrietado.

El secado se realiza en los secaderos por aire caliente en el que el grano de cebada se transporta por la parte superior del secadero al que se le adicionan corrientes calientes de aire eliminando así el contenido de humedad del grano. Un calentamiento muy elevado en las corrientes de aire caliente puede ser perjudicial para la germinación del grano de cebada. Por otro lado, en la parte inferior del secadero, la cebada pasa por corrientes frías para enfriar la cebada.



Figura 17. Secadero de cebada.

Una vez el grano es secado y enfriado, llega el momento de su almacenamiento, según el contenido de humedad que posea y la temperatura de almacenamiento, mayor o menor será el tiempo de almacenamiento de este (Tabla 9).

Contenido de humedad (%)	Temperatura de almacenamiento (°C)	Almacenamiento
12 – 15	9 – 12	Indefinido
15 – 16,5	8 – 10	1 – 2 años
16,6 – 18	5 – 7	4 – 6 meses
18 – 20	5	3 – 4 meses
20 – 22	5	2 – 3 meses
22 – 25	5	1 – 2 semanas
25 – 30	5	2 – 3 días
<30	-	-

Tabla 9. Almacenamiento de la cebada.

3.1.3 Remojo de la cebada.

Una vez acabado el secado de la cebada recibida y almacenada en las malterías llega el momento del remojo de la cebada (Figura 18), este remojo hace que entre el agua en el interior del grano y las enzimas presentes en él se activen y empiece el proceso de la germinación. Durante este proceso, la cebada respira por lo que necesita que se le suministre oxígeno al igual que se le suministra agua, de la misma forma y para limpiar el ambiente se necesita que se elimine el dióxido de carbono generado durante la germinación.



Figura 18. Remojo de la cebada.

Durante esta operación de remojo, se ven involucrados diferentes factores para calcular el tiempo en el que el grano está bien remojado y en perfectas condiciones para comenzar la germinación de manera óptima, estos son la temperatura del agua de remojo, tipo de cebada, tamaño del grano...

En cuanto a la temperatura del agua de remojo, para que el agua llegue a la zona del embrión en el interior del grano, a mayor temperatura del agua, menor es el tiempo de remojo como se aprecia en la Tabla 10:

Temperatura del agua de remojo (°C)	Tiempo de remojo (horas)
5	90
10	70
15	45

Tabla 10. Temperatura / Tiempo de remojo.

Otros de los factores que afectan al tiempo de remojo es el tamaño del grano de cebada, puesto no tarda lo mismo un grano de tamaño grande a un grano de tamaño pequeño, por ello mismo en fases anteriores se produce una clasificación del grano para que en este proceso el remojo sea uniforme. En un estudio ante un tiempo de 90 horas de remojo y ante diferentes tamaños de grano, se observa que el remojo no es el mismo, un grano de menor tamaño absorbía mayor cantidad de agua que un grano de mayor tamaño (Figura 19).

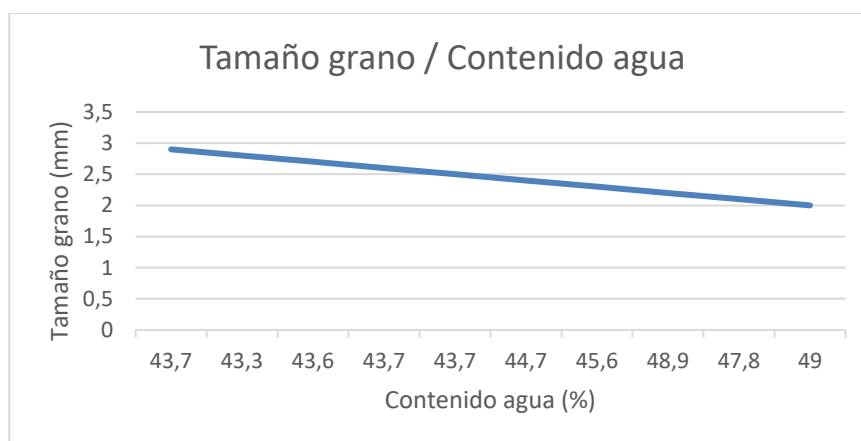


Figura 19. Tamaño del grano / Contenido agua absorbida.

Una vez comienza el proceso de remojo y el grano empieza a absorber agua, es necesario el abastecimiento del oxígeno ya que comienza la respiración. En el caso que a la cebada le falte oxígeno, no estará bien preparada para el proceso de germinación, con lo que podrá producirse la muerte del embrión.

Durante el remojo, el grano de cebada absorbe agua de manera muy rápida al principio pero dicha absorción va disminuyendo a medida que pasa el tiempo. Este proceso tiene lugar de forma que, al principio se llenan los tanques cilindro-cónicos de remojo de agua al que posteriormente se le añade la cebada, una pequeña parte del grano añadido no se hunde por lo que se queda flotando en dicho tanque, estos granos no flotantes que por lo general representan el 0.2 % de la cebada añadida son recogidos por el rebosadero del tanque y desechados ya que son granos vacíos.

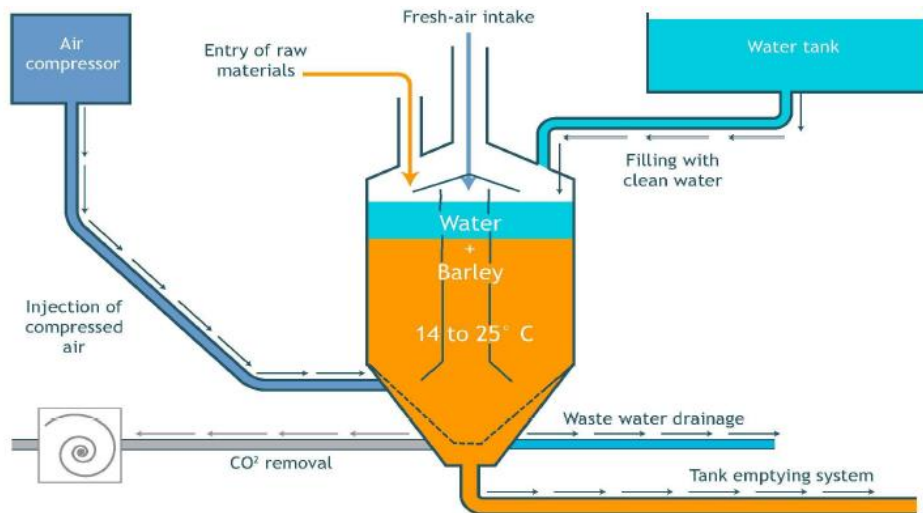


Figura 20. Esquema del Remojo de la cebada.

Una vez la cebada está en contacto con el agua en el tanque de remojo, se lleva en torno a 6 – 8 horas, se drena la primera agua de remojo y se empieza a airear abundantemente la cebada, el dióxido de carbono (CO_2) generado aquí es evacuado, este cambio entre remojo húmedo y aireación se realiza en un par de ocasiones más de tal manera, que en 2 días la cebada da por finalizada su estancia en el tanque de remojo ya que la absorción del agua continúa luego en la germinación (Figura 21).

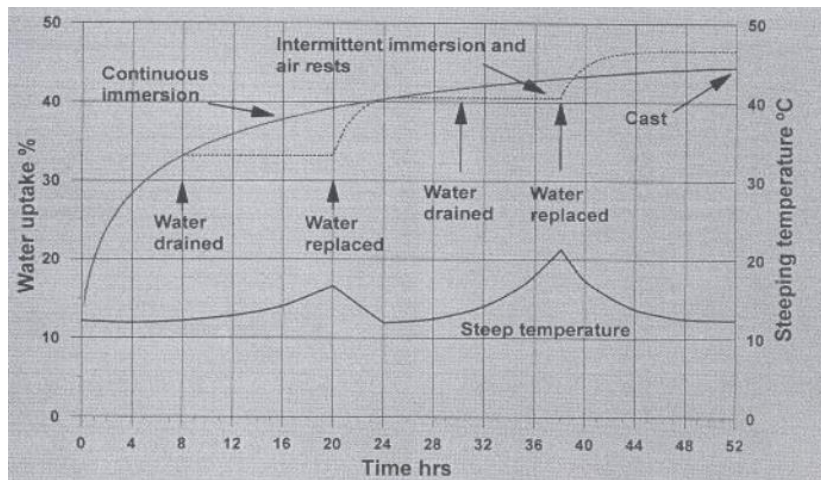


Figura 21. Remojo / Aireación típica del malteado.

3.1.4 Germinación de la cebada.

Una vez acabado el remojo de la cebada, comienza la etapa de la germinación (Figura 22), en la que a partir del grano de cebada ya en buenas condiciones constantes de humedad y aireación forma una nueva planta, para dicha formación es necesario que el grano conste con una gran energía obtenida por la respiración para poder llevar a cabo esta etapa. La temperatura de esta etapa oscila entre los 14 – 20 °C.

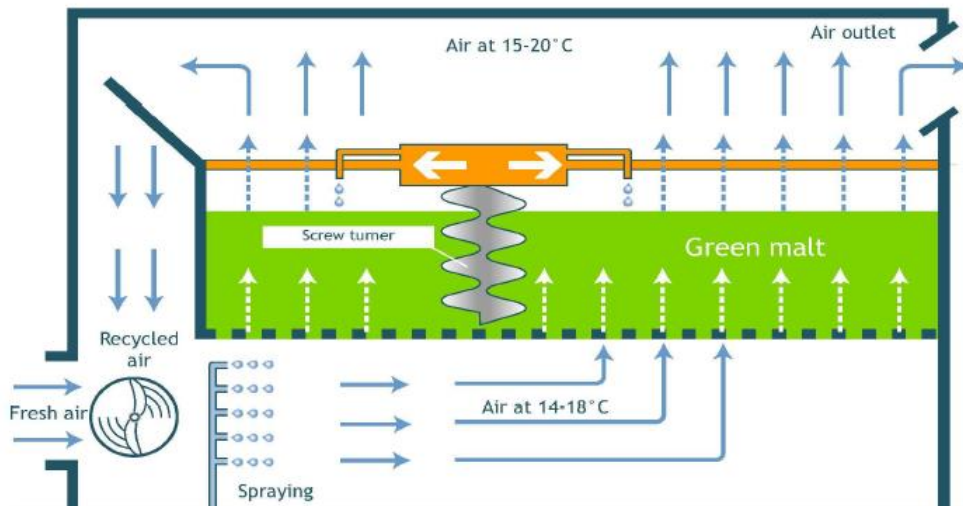


Figura 22. Esquema de la germinación del grano.

En este proceso se pueden diferenciar varias etapas como son:

- Procesos de crecimiento. En el grano que va a germinar se forman las raicillas y las acrospira.

Las **raicillas** despuntan del grano después del remojo, estas raicillas se ramifican en pequeñas raíces y para maltas tipo Pilsner la longitud de estas raíces deben ser en torno a 1.5 veces la del grano. Finalmente en la limpieza de la malta son eliminadas cuando acaba el tostado, estas forman una parte de la merma presente durante el malteado, para minimizar esta merma la germinación es realizada a temperaturas y tiempos lo más bajo posibles.

La **acrospira**, cuando crece aparece en forma de parte quebrada en la parte superior del grano, al contrario que las raicillas no son eliminadas durante la limpieza de la malta ya que esta crece debajo de la cáscara. En maltas tipo Pilsner alcanzan en torno a 2/3 – 3/4 de la longitud del grano. La acrospira no debe sobrepasar la longitud del grano y hacerse visible en la punta, estos granos son llamados húsares, se forman debido a una alta temperatura en el germinado o una mala manipulación.



Figura 23. Raicillas y Acrospira durante el crecimiento.

- Formación de enzimas. El embrión al acabar la absorción del agua, desecha las sustancias de crecimiento que avanzan hasta la capa de la aleurona, siendo allí la encargada de estimular la formación de nuevas enzimas como son:
 - Enzimas que degradan el almidón, como son α -amilasa, β -amilasa o dextrina límite.

La α -amilasa no se detecta en la cebada sin germinar, es la encargada de la rotura de los enlaces 1 – 4 (Figura 24) aunque de manera desordenada en glucosa, maltosa y dextrinas actuando en cualquier parte de la cadena. La máxima cantidad de α -amilasa se forma en el 3 – 4 día de germinación, necesitando gran cantidad de oxígeno para su desarrollo. La temperatura óptima de funcionamiento se encuentra entre 72 – 75 °C.

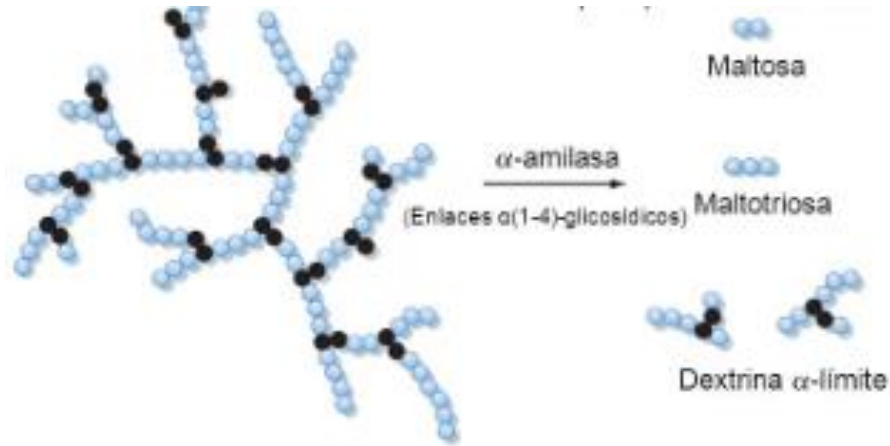


Figura 24. Alpha-amilasa.

Por otro lado la β -amilasa, sí se encuentra en la cebada sin germinar, aunque la mayor cantidad es encontrada en el 2 – 3 día de germinación. La rotura de enlaces 1 – 4 se realiza de manera ordenada en maltosa actuando solo en el extremo de la cadena. La temperatura óptima de funcionamiento se encuentra entre 62 – 65 °C.

- Enzimas citolíticas, como son: endo- β -glucanasa, exo- β -glucanasa, β -glucanosolubilasa, endoxilanasa.

Son las encargadas de dejar libre el grano de almidón, atacando a las paredes celulares y descomponiendo la cubierta de hemicelulosa y pectina. La más importante es la β -glucanasa, se encarga de la degradación de los betaglucanos hasta dextrinas, de manera que destruyen la estructura celular rígida de tal modo que la degradación enzimática ocurre más fácilmente. Cuanto mayor sea la degradación del grano, mayor será la friabilidad de manera que el grano pueda ser triturado con los dedos al final de la germinación (Figura 25).

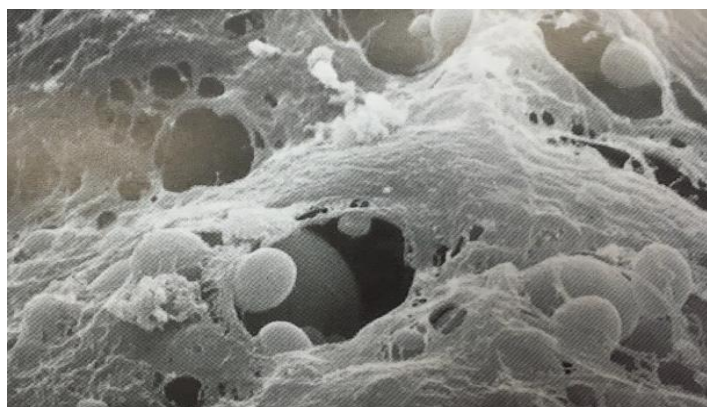


Figura 25. Aumento de la friabilidad del grano.

- Enzimas que degradan proteínas, como son las proteasas o las peptidasas. No se consumen en la respiración, sino en la formación de nuevas estructuras.

- Enzimas que degradan grasas como son las lipasas.
- Enzimas disociadoras de éster fosfórico, como la fosfatasa, vitales para el metabolismo de la levadura.

3.1.5 Tostado de la cebada.

Una vez que el proceso de germinación finaliza debe ser interrumpido para prevenir que el embrión siga transformándose y consumiendo sustancias de reserva. Este proceso se interrumpe mediante el secado y posterior tostado del grano en el que se intenta conseguir (Figura 26):

- La **disminución del contenido del agua**, en el que se pasa de un 40 % a un 5 % para así conservar la malta en buenas condiciones y dar resistencia al almacenamiento. Esta eliminación del agua ocurre de tal manera en la que una corriente de aire caliente pasa a través de la malta y la va secando poco a poco (Tabla 11), durante este proceso se tiene especial cuidado con las enzimas, con un pre-secado de la malta a temperaturas más bajas, ya que son las encargadas de la degradación de sustancias en la Brewhouse.

Enzima	Temperatura Letal	Observaciones
α-amilasa	> 80 °C	Enzima más estable, la actividad se incrementa a temperaturas altas.
B-amilasa	65 – 70 °C	Enzima muy sensible, el 40 % es destrozada en el tostado.
B-glucanasa	55 – 60 °C	La enzima más sensible, el 50 % es destrozada en el tostado.
Endo-peptidasa	60 – 65 °C	Sensible.
Carboxy-peptidasa	75 °C	Relativamente estable.
Di-peptidasa	55 °C	Muy sensible.

Tabla 11. Temperaturas letales para diferentes enzimas.

- La **interrupción del proceso de germinación, impidiendo así la transformación del grano** con el crecimiento de las raicillas.
- Por último, la **formación de sustancias aromáticas y colorantes**, cuando el grano es expuesto a tiempos prolongados y temperaturas superiores a 85 – 90 °C, los aminoácidos se unen con los azúcares formando aromas intensos y colores rojizos - marrones. Además se forman reacciones de compuestos dicarbonilos y aminoácidos denominados “mecanismos de Strecker” formando aromas muy intensos, todos estos compuestos estructurales de forma compleja son conocidos como “Reacciones de Maillard”. Los productos generados en las “Reacciones de Maillard” son conocidos como “productos de Maillard”, que son sustancias aromáticas y colorantes que aumentan su interés en maltas oscuras, intentando evitar la formación de estas sustancias en maltas pálidas y claras. A mayor temperatura y tiempos expuestos a la malta, mayor son los productos de Maillard formados. Por el contrario si se quiere que la formación de los productos de Maillard sean los mínimos posibles se deben buscar maltas, con bajo grado de modificación proteica y remojo, y un pre-secado inicial con temperaturas en torno a 35 – 40 °C.

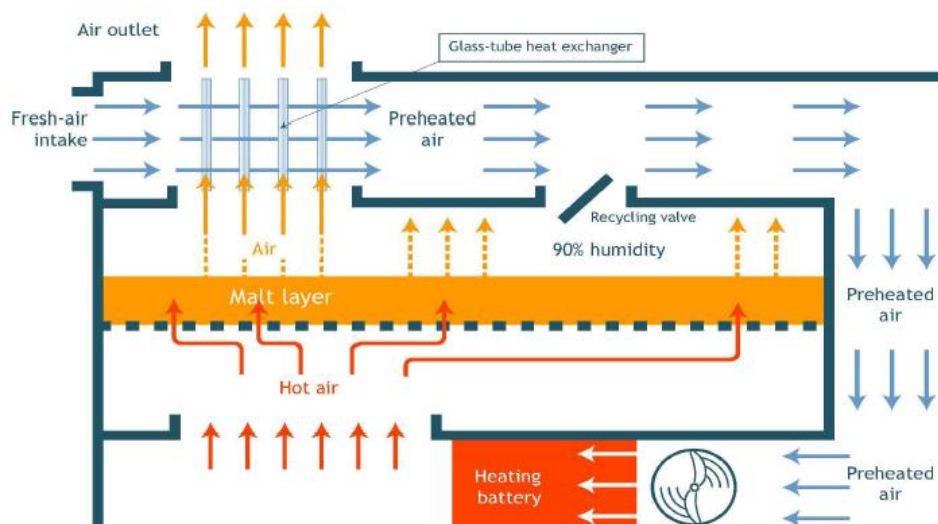


Figura 26. Esquema del secado y tostado del grano.

La temperatura y tiempo en el tostado de la malta son de vital importancia para su calidad final, en cuanto al pre-secado de la malta, unas temperaturas en torno a 50 °C y tiempos altos tienen como finalidad numerosas ventajas y beneficios para la malta en cuanto a la estabilidad del sabor de la cerveza. Por otro lado, el tostado de la cerveza se debe hacer a temperaturas de en torno a los 70 - 75°C para conseguir igualmente una estabilidad de sabor buena y que el sulfuro de dimetilo (DMS), el cuál puede aparecer durante el periodo de malteado y aportar toques de sabor a verdura y olores a hierbas negativos para la cerveza, se mantenga lo más bajo posible.

La malta tipo Pilsner es una de las más usadas en la fabricación de la cerveza ya que es una de las maltas base, la fabricación de ella en un tostadero se recogen los siguientes datos (Tabla 12), en los que se aprecia que a medida que pasan las horas la temperatura del secadero aumenta progresivamente hasta llegar en torno a los 85 °C y por consiguiente la humedad o contenido en agua de la malta baja hasta 4 % de agua.

Hora	Temperatura de la malta (°C)			Cantidad de agua (%)			Potencia Ventilador Secadero
	Arriba	Medio	Bajo	Arriba	Medio	Bajo	
-							-
1 – 3	21	27	37	42	40	33	Max
4 – 8	25	46	52	35	31	17	Max
9 – 12	56	60	62	20	16	9	Max
13 – 16	71	74	77	8	6	6	75 %
17 – 20	80	81	84	6	5	4,5	50 %
21 – 24	84	85	86	4	4	4	50 %

Tabla 12. Fabricación malta Pilsner en tostadero.

Una vez acabado el tostado la malta no puede ser almacenada a 85 °C por lo que debe ser enfriada mediante un soplado de aire fresco para bajar la temperatura a en torno a 30 – 35 °C.

- **Rendimiento del malteado.**

Como cualquier proceso industrial, la cantidad de producto final obtenido en un proceso no coincide con la materia prima inicial del proceso, es lo que se conoce como rendimiento, en este caso rendimiento del malteado que es la relación entre la malta final producida y la cantidad de cebada inicial utilizada, la diferencia obtenida con respecto al 100 % es lo que se conoce como la merma del malteado.

Se conoce que por 1000 Kg de malta Pilsner en remojo, se obtienen después de la germinación en torno a 1400 Kg de malta ya germinada y escurrida, conocida como malta verde.

Esos 1400 Kg de malta verde deben ser tostados para la eliminación del contenido de agua que contengan y su posterior almacenamiento, se obtienen aproximadamente en torno a 800 Kg de malta almacenada, por lo que la merma de 1000 Kg de cebada inicial son 200 Kg.

- **Utilización de diferentes tipos de malta, según la cerveza a fabricar.**

Según el tipo de cerveza a fabricar, se deben elegir diferentes tipos de maltas en proporción al color final que se quiera obtener, en el mundo cervecero el color se clasifica por unidades EBC (Figura 27), cuanto más bajo sea el valor más clara es la cerveza, y por el contrario, ante un valor más alta, más oscura será la cerveza final.

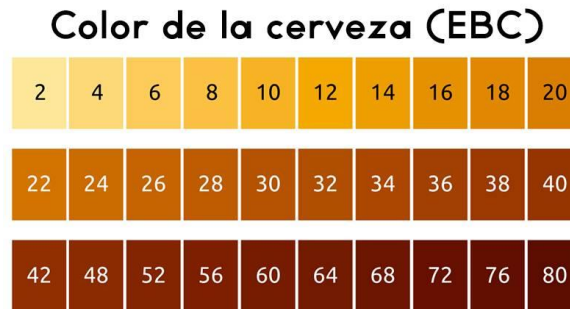


Figura 27. Color de la Cerveza EBC.

En la Tabla 13, se mostrarán una serie de combinaciones de maltas con distintos EBC y en diferentes proporciones para conseguir el color EBC que se quiera obtener en el producto final.

Tipo de Cerveza	Color final (EBC)	Tipos de malta	Color (EBC)	Porcentaje (%)
Pilsner	6 – 7	Malta Pilsner	3	100 – 95
		Carapils	15	4 – 5
Clara	8	Malta Pálida	3,5	100 – 95
		CaraHell	25	Hasta 5
Oscura	50 – 60	CaraDunkel	120	2
		Malta Oscura	15	90
		Malta Pálida	3,5	8

Tabla 13. Tipos de malta según Cervezas.

3.2 Molienda.

En este momento es donde comienza la elaboración del mosto cervecero, la malta procedente de las malterías es recibida en las fábricas de cerveza en los silos de malta, la cuál es mandada a los molinos trituradores en los que se tritura de manera adecuada para su elaboración.

La calidad de la molienda influye en:

- La maceración y tiempo de sacarificación.
- Filtración del mosto cervecero.
- Rendimiento en la sala de cocción.
- Fermentación.
- Filtrabilidad de la cerveza, contenido en β -glucanos.
- Sabor y color de la cerveza final.

- Molturación de la malta.

La molturación de la malta es un proceso de trituración mecánica, para facilitar a las enzimas que actúen sobre los componentes de la malta y los degraden. En este proceso, la cáscara debe ser triturada y tratada con especial cuidado debido a que actuará como medio filtrante en etapas posteriores. El grado de molturación de la malta está relacionado con la cantidad de extracto que se puede obtener de la malta, la magnitud que se encarga en medirlo es el rendimiento, se define como la cantidad de extracto que se obtiene respecto a la cantidad de extracto máxima que se obtendría en condiciones ideales.

La cáscara seca se astilla con gran facilidad por lo que se reduce considerablemente la capacidad de filtrado del mosto, en cambio cuanto más húmeda se encuentre la cáscara, más elástica será y por lo tanto mejor rendimiento tendrá esta durante la filtración del mosto cervecero, este proceso se denomina molturación húmeda.

En la actualidad, se demanda una malta en el que el endospermo se encuentre seco y se pueda triturar fácilmente según las especificaciones además de una cáscara un tanto húmeda y elástica para favorecer el posterior filtrado. Por tanto la molturación puede ser en seco o en húmedo:

- Molturación en seco. Es la molturación más utilizada en las Industrias Cerveceras, la malta es triturada en seco pasando a través de rodillos dispuestos en pares, según el número de rodillos se diferencian varios tipos.

- Molinos de seis rodillos. Es de los más utilizados, consta de tres rodillos en pares, el primer par de rodillos es el llamado el par de rodillos de trituración previa, el segundo par, es el triturador de cáscaras y el último es el par de rodillos de molienda, entre los pares de rodillos se encuentran tamices con diferentes luz de mallas encargados de clasificar el material molido, como son las cáscaras, la sémola y la molienda fina y harina.
 - Molinos de cinco rodillos. Igual que el molino de seis rodillos anterior, en la que un rodillo asume el trabajo de dos. Con este tipo de rodillo se pueden alcanzar todo tipo de moliendas que se quieran.
 - Molinos de cuatro rodillos. Es muy frecuente verlos en plantas medianas, consta de dos pares de rodillos de forma superpuesta. Consta de un tamiz vibratorio intercalado, el cual, separa la malta pretriturada en cáscaras con sémola adherida, sémola y harina y hacer pasar por el segundo par de rodillos.
 - Molino de dos rodillos. Se encuentran en fábricas muy pequeñas, poseen un rendimiento muy bajo, nada comparable a los anteriores.
- Molturación húmeda. Si la malta es remojada antes de la molturación, el daño que se le produce a la cáscara del grano se reduce significativamente y así cumple su función de filtrado de mosto en el lauter. Estos molinos se componen de, un silo de malta donde ocurre el remojo de la malta, rodillos alimentadores y estrujadores y bombas para la mezcla y transporte de la malta. Son molinos ya un poco obsoletos.

En cuanto a su funcionamiento, en primer lugar se produce el remojo de la malta con agua en torno a 40 °C aumentando la humedad del grano en torno al 40%, el agua sobrante es retirada por bombeo, quedando solo la malta ya remojada para pasar a través de los rodillos del molino.

3.3 Macerado.

El macerado es considerado uno de los procesos más importantes en la elaboración de la cerveza, en el cuál, la malta y el agua son mezcladas en el macerador, esta mezcla se conoce como empaste del grano, para que con ayuda de las enzimas se produzcan una serie de transformaciones y las sustancias insolubles pasen a ser solubles durante la maceración. Son consideradas solubles; los azúcares, dextrinas, sustancias minerales y algunas sustancias albuminoideas, en cambio, las sustancias insolubles que se quieren transformar son; el almidón, celulosa, sustancias albuminoideas de alto peso molecular.

Existen numerosos factores que varían la actividad enzimática de la disociación de los substratos (Figura 28), como son:

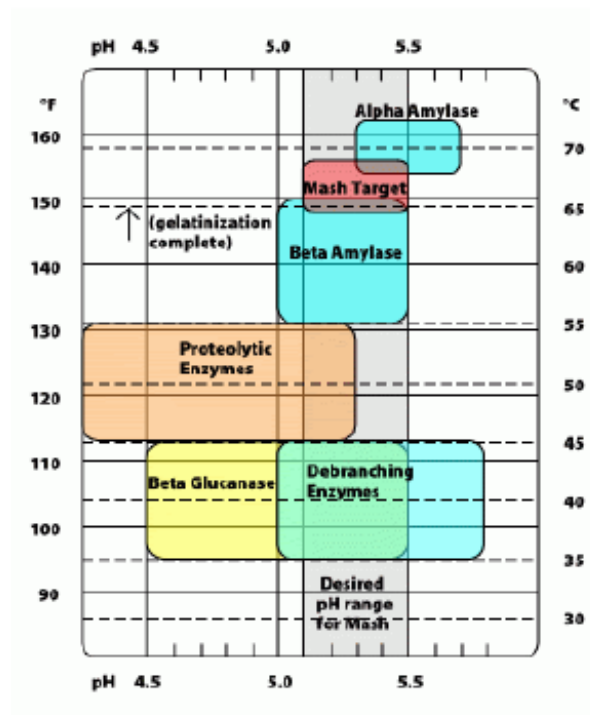


Figura 28. Enzimas según Temperatura y pH.

- Dependencia de la actividad enzimática de la temperatura y el tiempo. La temperatura es de los factores más importantes a controlar durante la actividad enzimática, la actividad aumenta al crecer la temperatura hasta que llega un valor óptimo y a partir de ahí comienza la inactivación de las enzimas y por tanto la eliminación de la actividad enzimática (Figura 29). A bajas temperaturas la actividad enzimática se conserva y disminuye muy lentamente con el tiempo, al contrario que a altas temperaturas que disminuye rápidamente con el tiempo.

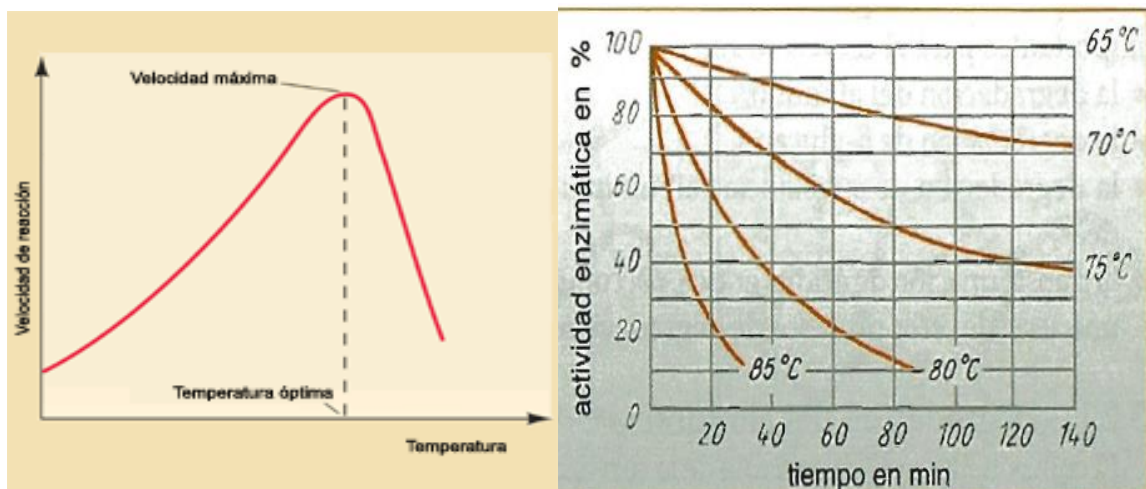


Figura 29. Dependencia de la actividad enzimática de la temperatura y el tiempo.

- Dependencia de la actividad enzimática del valor del pH. Al igual que la temperatura, el valor del pH es de gran influencia en la actividad enzimática (Figura 30), específico para cada enzima. El valor alcanza un óptimo y disminuye a mayores y menores valores de pH.

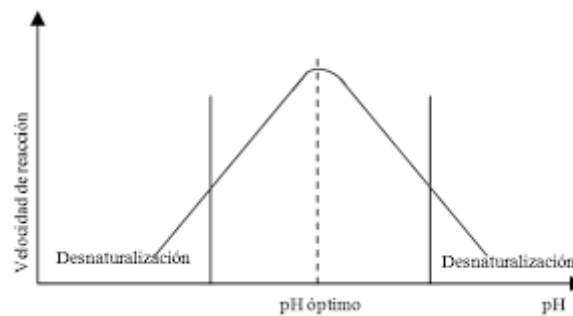


Figura 30. Dependencia de la actividad enzimática del valor del pH.

Los procesos de degradación de sustancias importantes para la fabricación del mosto cervecero son:

- La degradación del almidón. El alcohol es uno de los componentes más importantes de la cerveza, es formado gracias al almidón degradado a maltosa. Por lo general, el almidón debe ser degradado completamente a azúcares y a dextrinas límites, que no son fermentables. Los restos de almidón no degradados causarían un enturbiamiento de almidón en la cerveza, esta degradación ocurre en tres fases.
 - El engrudamiento, que es el hinchamiento de los granos de almidón en una solución acuosa y a temperatura óptima, en torno a 60 °C, las moléculas liberadas son mejor atacadas por las amilasas.
 - La licuefacción, las cadenas largas de almidón, formadas por residuos de glucosa, son rotas rápidamente por la Alpha-amilasa en cadenas más pequeñas.
 - La sacarificación, la Alpha-amilasa rompe las cadenas de amilosa y amilopectina para obtener dextrinas con pocos residuos de glucosa, entre 7 y 12, trabaja en una temperatura óptima de 72 a 75°C y un pH de 5,4 a 5,6. La beta-amilasa disocia dos residuos de los grupos terminales nuevos formados, así la Alpha-amilasa forma con cada disociación dos cadenas terminales, las cuales pueden ser atacadas por la beta-amilasa, cuya temperatura óptima está en torno a 60-65°C y 5,5-5,6 de pH.

En una cerveza clara con un grado de fermentación normal en torno a 80%, la composición del extracto fermentable suele ser el siguiente, teniendo en cuenta que son de gran influencia factores como:

- Temperatura durante el macerado.
- Duración del macerado.
- pH del macerado.
- Concentración de la templa.

Azúcares fermentables	% de extracto	Gramos en 100 ml de mosto	Porcentaje del extracto fermentable
Hexosas	8	1	11,9
Sacarosa	3,5	0,45	5,1
Maltosa	44	5,8	65,4
Maltotriosa	12	1,6	17,6
Total	65	8,7	100

Tabla 14. Composición del extracto en una cerveza clara.

Durante la degradación del almidón toma una importancia relevante la temperatura durante la maceración, ya que se deben mantener reposos a las temperaturas ideales para las amilasas. En el primer reposo se busca la temperatura óptima para la beta-amilasa, se denomina reposo de formación de maltosa y se da en torno a 62-65 °C. El segundo reposo es el reposo de la sacarificación, se da en torno a 72-75 °C y es donde la Alpha-amilasa trabaja de forma óptima. Por último, el reposo de finalización del macerado que se da en torno a 76-78 °C.

Por otro lado, el pH es otro factor relevante durante la maceración, mantener dicho pH en un rango entre 5,6-5,7 puede ser un rango óptimo para ambas amilasas e incrementar el contenido en extracto.

- La degradación de Beta-glucano. El beta-glucano debe ser degradado a beta-glucano soluble ya que pueden aparecer problemas en la filtración del mosto puesto a que este componente aumenta la viscosidad y puede llegar a producir geles. Esta degradación es procesada gracias a la beta-glucanasa que a una temperatura de entre 40-45 °C y un reposo prolongado es capaz de degradar todos los beta-glucanos y reducir la formación de geles, evitando problemas de filtrado del mosto. Este compuesto no tiene efecto sobre la conservación de la espuma ni sobre el cuerpo de la cerveza.
- La degradación de sustancias albuminoideas. En el proceso de hervido del mosto cervecero es cuando todas las proteínas de alto peso molecular precipitan, en cambio las de bajo peso molecular, como son los aminoácidos, no llegan a precipitar y quedan formando parte del mosto, la cual no es ningún inconveniente ya que son importantes para una buena propagación de la levadura y una buena y rápida fermentación. Por lo que la degradación de estas sustancias albuminoideas se realiza primero a temperaturas de entre 45-50 °C donde se degradarán proteínas de bajo peso molecular y por otro lado a 60-70 °C donde se degradarán productos de alto peso molecular.

	Ventajas	Inconvenientes
Productos de alto peso molecular	Espuma/Cuerpo	Enturbiamiento
Productos de bajo peso molecular	Nutrientes para la levadura	-

Tabla 15. Ventajas e inconvenientes de la degradación de sustancias albuminoideas.

- La transformación de ácidos grasos. En el proceso de la maceración, las enzimas llamadas lipasas son las encargadas de degradar los lípidos en glicerina y ácidos grasos. Además otro producto a tener en cuenta en la degradación es el oxígeno, el cual, aporta un sabor a oxidación en la cerveza almacenada

nada positivo, e implican un riesgo en la estabilidad del sabor a la cerveza. El comienzo de la oxidación comienza en la tritución del grano, por lo que es casi imposible eliminar todo el oxígeno durante este proceso y debido a esto se formará una degradación enzimática por parte de las lipooxigenasas influenciada debido a:

- Variedad de la cebada.
- Finura de la molienda.
- Temperatura y almacenamiento de la molienda.
- pH de la mezcla.

A causa de la adicción de las sales de magnesio, calcio y ácidos orgánicos en el agua, este valor en el empaste se sitúa entre 5,6-5,8, según el agua que se use, ya que el agua de la red tiene un pH de en torno a 7,9.

Existen procesos y modificaciones que se desarrollan más rápidamente y mejor con valores más bajo de pH, por lo que se está interesado en disminuirlo. Durante la fabricación del mosto se debe de llegar en torno a 5,6 de pH en el macerado, por lo que se le añaden ácidos minerales.

Por lo general se le suele añadir ácido fosfórico, láctico, clorhídrico o sulfúrico, según el ácido a utilizar se añaden las siguientes cantidades por 100 Kg de malta, para disminuir un 0,1 de pH (Tabla 16):

Ácido	En templa (gramos)	En mosto (gramos)
Láctico al 100%	58	29
Láctico al 80 %	72	36
Clorhídrico al 37 %	63	32
Sulfúrico al 98 %	32	16

Tabla 16. Adicciones de ácidos por cada 100 Kg de malta.

La maceración se da por dos métodos diferentes (Figura 31), según el momento de calentamiento del empaste en el interior del macerador:

- Métodos por infusión: el empaste entre el grano y el agua es calentado por calentamiento indirecto en la caldera de maceración pero sin llegar a la ebullición del empaste, ocurre cuando el mosto se fabrica sólo con malta, y todo el empaste se macera a la misma temperatura, es la utilizada actualmente, si la cerveza lleva adjuntos se maceran de forma separada.
- Métodos por decocción: se consigue por elevación de la temperatura de la caldera de maceración, llevando unas porciones a ebullición en la caldera de temple y transfiriéndolas a la caldera de maceración. Actualmente, se utiliza poco este proceso de macerado.

Cuando la cerveza se fabrica con malta y adjuntos en diferentes proporciones, la maceración de la malta se ha de realizar separada a la maceración de los adjuntos , ya que la temperatura de maceración de los adjuntos desactivaría la actividad enzimática en la malta.

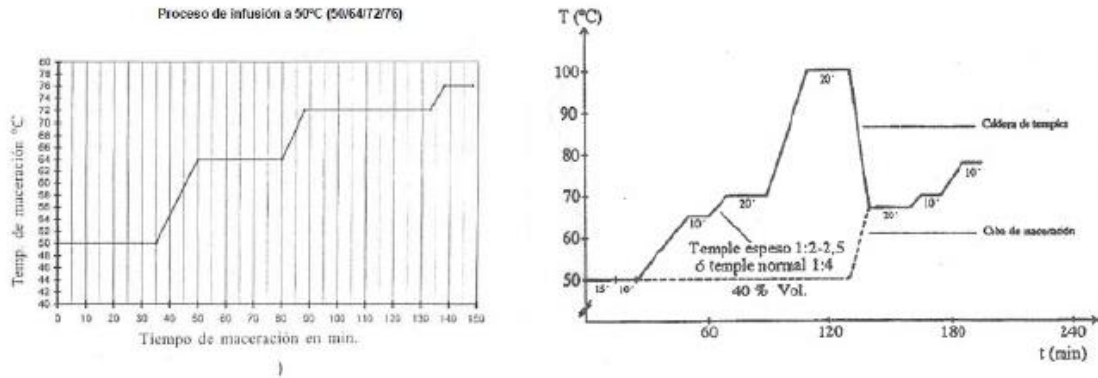


Figura 31. Curvas de los dos métodos de maceración.

- Recipientes de maceración.** Para llevar a cabo este proceso de maceración es necesario un recipiente, el cual debe de tener un sistema de calentamiento (Figura 32). El sistema de calentamiento actual más usado consiste en que la propia cuba de maceración incorpore camisas de vapor en sus paredes. Además, es de gran importancia el dimensionamiento del agitador del macerador, debe ocupar en torno al 80-85% del diámetro de la cuba y su velocidad periférica no debe superar en torno a los 3,5 m/s, superar esta velocidad provocaría a la templa un esfuerzo que podría modificar dichos componentes cambiando sus propiedades.

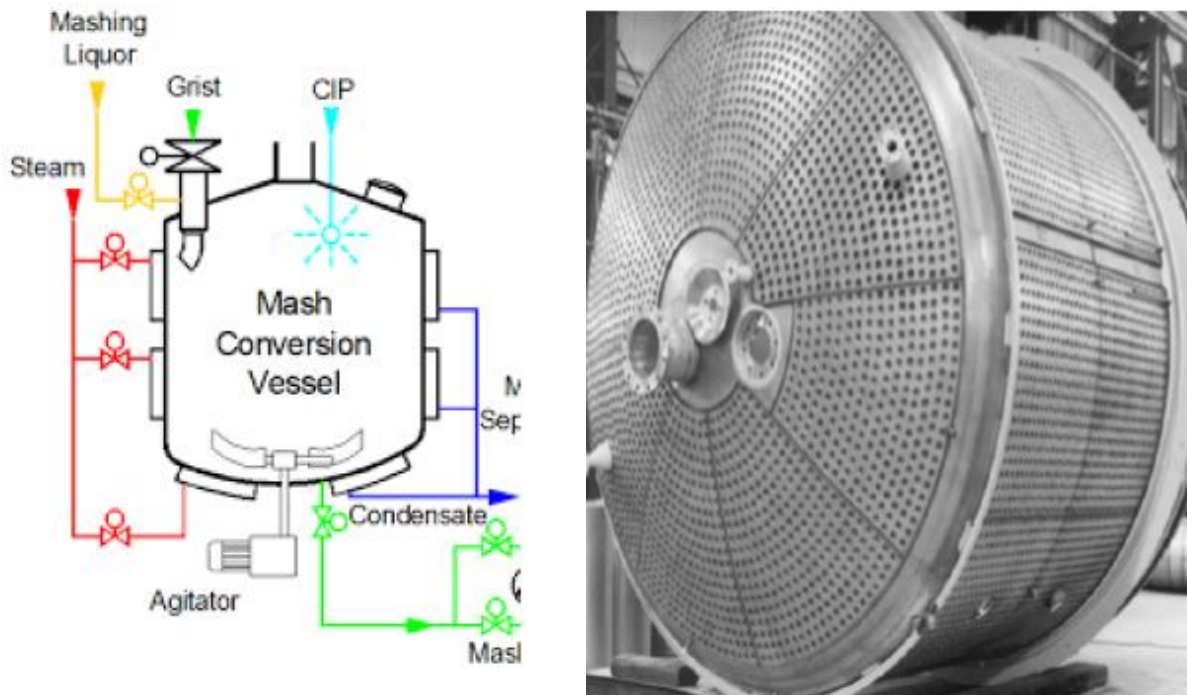


Figura 32. Camisas de vapor en caldera de maceración.



Figura 33. Macerador.

Resumen macerado.

En la Tabla 17 se realiza una tabla resumen del proceso de macerado, incluyendo parámetros a controlar así como los reposos más usuales en la elaboración de cerveza.

Definición	Proceso en el que la malta y el agua son mezcladas en el macerador, para que con ayuda de las enzimas se produzcan una serie de transformaciones y las sustancias insolubles pasen a ser solubles durante la maceración.
Factores que varían la actividad enzimática	Temperatura y Tiempos de macerado
	pH
Reposos para la obtención del mosto cervecero	1°. 40 – 45 °C. Degradación gracias a la beta-glucanasa
	2°. 60 – 65 °C. Formación de la maltosa por la degradación de la beta-amilasa.
	3°. 72 – 75 °C. Sacarificación, la Alpha-amilasa trabaja de forma óptima
	4° 76 – 78 °C. Fin macerado
Adición de ácidos para conseguir el pH óptimo (5,6)	Para conseguir el pH óptimo durante la maceración se añaden ácidos orgánicos como: fosfórico, sulfúrico, láctico.
Recipiente de maceración	Cuba de maceración con calentamiento por vapor, agitador que ocupe entre el 80 – 85% de la cuba, cuya velocidad no supere los 3,5 m/s.

Tabla 17 . Resumen macerado.

3.4 Filtrado.

Una vez finalizado el proceso de macerado, se obtiene una mezcla homogénea compuesta por el bagazo, el cual, lo componen las cáscaras del grano, embriones y otras sustancias que no entraron en solución durante la maceración, por otro lado se encuentra el mosto cervecero que debe ser separado de dicho bagazo y es el utilizado para continuar, este proceso de separación se denomina filtrado del mosto.

En este proceso el extracto contenido en el mosto debe ser extraído en lo posible de forma total, en cambio en bagazo actuará de material filtrante en el “lauter o cuba filtro”.

El proceso ocurre en dos fases bien diferenciadas, y de forma separada:

- Filtrado del primer mosto o colada principal: es el mosto que escurre de la mezcla entre el agua y la malta una vez acaba el macerado y es transferido a la cuba filtro, éste cae por gravedad.
- Filtrado del segundo mosto o colada secundaria: Una vez acaba el filtrado del primer mosto, el extracto que tiene el bagazo debe ser recuperado por lo que se realiza el lavado con agua caliente para extraer el extracto soluble, este lavado diluye cada vez más el mosto. Su contenido en extracto disminuye primero rápidamente y luego de forma cada vez más lenta.

Cuanto más agua de lavado se le añade para obtener las coladas secundarias, mayor será el rendimiento, al igual que más agua deberá ser evaporada por lo que es un efecto negativo. Debe lograrse un **equilibrio entre el tiempo de filtración, el rendimiento y la duración de hervido y energía consumida**.

En la Figura 34, se representan el extracto contenido según el volumen de mosto; (1) concentración del primer mosto, (2) concentración del segundo mosto, (4) primer mosto, (5) segundo mosto, (6) últimas aguas (2-3 % extracto).

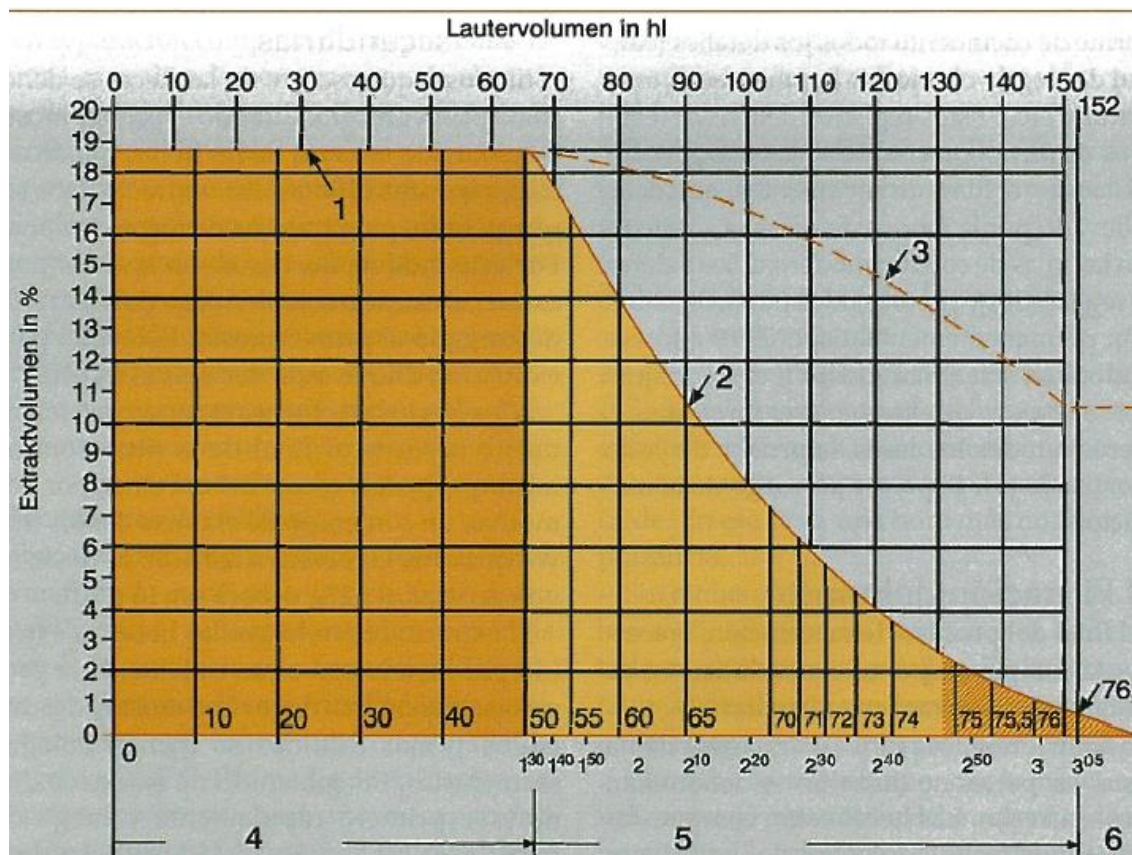


Figura 34. Extracto/Volumen de las coladas principales y secundarias.

La filtración del mosto se realiza en cubas filtros o lauter (Figura 35), es un recipiente cilíndrico, formado por un doble fondo ranurado donde se deposita el grano que realiza la función de filtrado del mosto, una vez obtenido el mosto ya filtrado el bagazo es retirado de la cuba filtro.



Figura 35. Cuba filtro o Lauter.

La secuencia operativa de la cuba filtro se realiza en varias etapas:

- Expulsión de aire. Para que la filtración se realice de forma más rápida, libre de contaminantes y burbujas de aire el falso fondo debe estar libre de aire.
- Transferencia de la templa. Se transfiere desde el macerador de la forma más rápida posible y de manera uniforme para obtener mejor rendimiento, el trasvase debe durar en torno a 10 minutos y la velocidad debe ser constante y lo más lenta posible para evitar la desintegración de la mezcla.
- Reposo de la filtración. Una vez se realiza la transferencia, el primer mosto se acumula en la parte superior, en cambio por gravedad el grano o heces se encuentra en la parte inferior actuando como capa filtrante. Este proceso oscila entre los 5 – 10 minutos. A mayor temperatura en la finalización del macerado, más rápida será la filtración del mosto.
- Descarga del primer mosto. El primer mosto pasa a través de las heces y así es filtrado, las heces oponen al mosto una resistencia que causa efecto de succión, ya que tiende a filtrar más mosto del que fluye. Este efecto hace que las heces se compacten cada vez más y la resistencia de filtrado vaya aumentando. Para evitarlo se tiende a mantener la diferencia de presión lo más baja posible.
- Lavado del mosto y descarga del segundo mosto. El primer mosto se filtra y descarga, hasta un poco antes que las heces sean visibles, para mantener la flotabilidad de ellas. A continuación, se procede al lavado de las heces para extraer su azúcar, este lavado requiere cierto tiempo. El lavado puede ser continuo o pequeños lavados para mantener el agua de riego más tiempo en contacto con las heces y extraer más extracto. Sin embargo un riego continuo tiene ventajas como, una filtración clara del mosto, menos enjuague de las cáscaras y oxígeno, cervezas más finas y mejor estabilidad.
- Evacuación de heces. Al finalizar la descarga de las últimas aguas, las cuchillas de la cuba filtro se giran hacia abajo empujando el bagazo hacia la boca de descarga y evacuándolas. El bagazo es transportado gracias al tornillo sinfín a los silos de heces donde son almacenadas y posteriormente vendidas.

Resumen filtración.

En la Tabla 18 se representa una resumen del proceso de filtrado, donde se incluyen la secuencia del filtrado completo.

Definición	Proceso en el que se separa el mosto cervecero cargado de azúcares fermentables del bagazo que es retirado, este bagazo es el encargado de actuar como medio filtrante y filtrar el mosto para seguir con la elaboración.
Fases de la filtración	Filtrado del primer mosto
	Filtrado del segundo mosto
Secuencia filtración	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evacuación de aire del circuito 2. Transferencia de la templa desde el macerador al lauter, el trasvase no debe durar más de 10 minutos. 3. Reposo y recirculado de la filtración, el tiempo oscila entre 5 – 10 minutos cada uno, además en el recirculado se empieza a compactar la capa de bagazo y crear el lecho filtrante. 4. Descarga del primer mosto, sin dejar nunca el grano descubierto de agua, para evitar su oxidación. 5. Lavado del mosto y descarga del segundo mosto, el agua de lavado debe proporcionarse al pH óptimo para aumentar el rendimiento en la extracción de azúcares del grano. 6. Evacuación del bagazo.

Tabla 18. Resumen filtración.

3.5 Hervido.

El mosto obtenido de la cuba filtro se cuece entre 50 – 80 minutos, según el tipo de cerveza a elaborar, en ese periodo de tiempo se produce la adicción de lúpulo para aportarle al mosto componentes amargos y aromáticos y conseguir que los compuestos formados por proteínas y polifenoles precipiten durante la cocción, esta etapa se lleva a cabo en el hervidor.

En la cocción del mosto se llevan a cabo una serie de procesos, los cuales son:

- Disolución y transformación de los componentes del lúpulo: en la fabricación de la cerveza, los componentes más importantes del lúpulo son; **las resinas de lúpulo o compuestos amargos** que son los encargados de aportar el sabor amargo, la **esencia de lúpulo** que es más volátil a mayor cocción del mosto por lo que dependiendo del tipo de cerveza a fabricar se hervirá más o menos y por último los **taninos de lúpulo** que intervienen en la floculación.
- Precipitación de proteínas y polifenoles: las proteínas son las encargadas de la formación de la espuma en la cerveza, además actúa como nutriente de la levadura. Tienen gran afinidad a unirse a los polifenoles y formar complejos que produzcan turbidez y por lo tanto afecte a la estabilidad de la cerveza. Por lo que, se intenta precipitar en la totalidad todos estos complejos, esta precipitación es más efectiva por; mayor duración de hervido, movimiento intensivo del mosto en el hervido y un bajo valor

de pH (el valor óptimo de pH se encuentra en torno a 5,2).

- Evaporación de agua: durante la cocción del mosto en el hervidor se intenta conseguir una tasa de evaporación de en torno al 4 – 5 % para obtener una buena precipitación de las proteínas.

$$\%evap = \frac{V_{mostoverde} - V_{mostofrío}}{V_{mostoverde}}$$

- Esterilización del mosto cervecero: durante el hervido del mosto son destruidos todos los microorganismos, los cuales si no son destruidos pueden modificar el sabor de la cerveza. Además se produce la esterilización del mosto, a partir de este momento es crucial tomar todas las precauciones para evitar la contaminación del mosto.
- Disminución del pH del mosto: tanto el lúpulo añadido como la cocción del mosto ayudan a la acidificación del mosto pasando de un valor de 5,5 – 5,6 a 5,2 – 5,3. Procesos como la precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles, reducido aumento de la coloración del mosto o amargor del lúpulo más fino y noble se desarrollan mejor con valores bajos de pH.
- Evaporación de sustancias aromáticas no deseadas: el mosto contiene una serie de sustancias aromáticas más o menos volátiles que no aportan beneficios sobre el aroma de la cerveza, por lo que es necesario eliminarlas. El control principal de estas sustancias está dirigido hacia el sulfuro de dimetilo (DMS), el cual, aporta aromas de sabor a verduras a la cerveza. El DMS libre generado debe ser purgado para generar una buena espuma y estabilidad en la cerveza, al igual que el formado durante la fermentación el cuál, debe ser eliminado mediante un aumento de la temperatura.
- Contenido de cinc (Zn) en el mosto: el contenido de cinc en el mosto debe oscilar entre 0,10 – 0,15 mg/L, se encarga de favorecer la fermentación alcohólica.

- Tipos de hervidores.

Según el tipo de calentamiento que se le aporte al hervidor, se diferencian; **hervidores con calentamiento directo por carbón, gas o aceite, hervidores con calentamiento por agua caliente y hervidores con calentamiento por vapor.**

Este último es el más usado en la industria cervecera, los de **calentamiento por vapor**. Para que el calentamiento en estos hervidores funciones correctamente, son necesarias algunas consideraciones.

La tubería de vapor procedente de la caldera hasta el hervidor debe estar bien aislada para evitar la pérdida de calor, el vapor no llega directamente de la caldera sino que se encuentra con una válvula reductora de presión para reducir a la reducción permitida del hervidor que tiende a estar entre 3 – 4 bar, esta reducción es necesaria ya que si no estuviese, el fondo del hervidor podría llegar a rajarse. El vapor que llega es distribuido a través de un canal anular aislado para que llegue a todas las partes del hervidor, las camisas del hervidor al igual que las tuberías se encuentran aisladas para perder el mínimo calor posible.

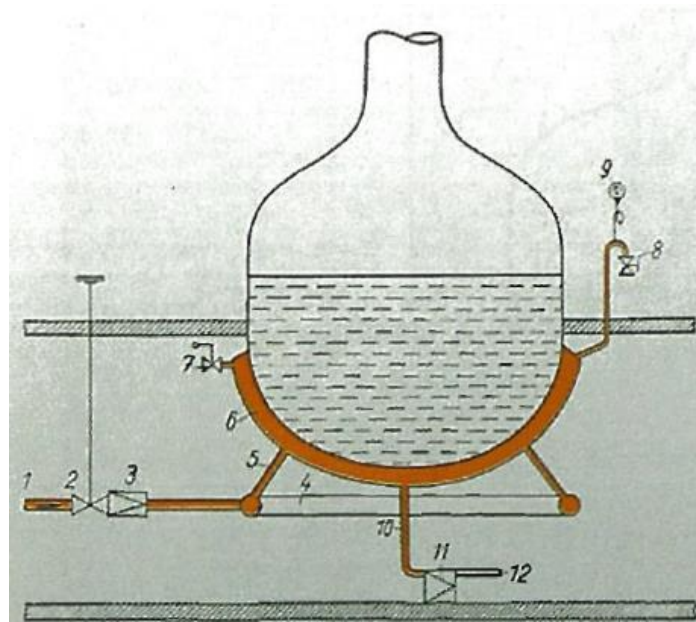


Figura 36. Circuito de Vapor del Hervidor.

Al principio del hervido, se debe de purgar con vapor el aire que se encuentre en la camisa por los tubos de purga hasta que fluya vapor hacia afuera, es necesario para evitar la formación de un vacío debido a la condensación de vapor. Este condensado es eliminado y conducido por las tuberías de condensado hasta el recipiente de condensación y suministrado de nuevo a la caldera como agua de alimentación de la caldera.

- Adición del lúpulo.

Durante la cocción del mosto, se añade el lúpulo y se cuece con el mosto. Debido a esta cocción, se logra una isomerización de Alpha-ácidos insolubles a iso-alpha-ácido soluble, que genera el amargor a la cerveza. En cuanto al cálculo de la dosificación de lúpulo es el siguiente:

$$CargaLúpulo = \frac{IBUobj \times V_{mosto}}{\%(\alpha - a) \times Utilización \times 1000^3} (Kg)$$

Donde:

- IBUobj: son las unidades de amargor que se quiere que tenga la cerveza fabricada.
- Vmosto: volumen de mosto.
- $\%(\alpha - a)$: porcentaje de Alpha-ácidos que contiene el lúpulo.
- Utilización: varía en función del tiempo que se lleve el mosto en el hervidor cociendo y el momento en el que se añada, por otro lado también influye la densidad que tenga el mosto fabricado.

En cuanto al momento de la adición, si se utilizan varias variedades de lúpulo, se adiciona primero el lúpulo que genera amargor, para transformar su gran potencial de Alpha-ácido.

Por otro lado el lúpulo aromático, se adiciona en último lugar preferiblemente al final de la cocción, de esta manera las esencias nobles se mantendrán en la cerveza.

Además, también se puede añadir el lúpulo en etapas de maduración en frío, se conoce como dry hopping, se utilizan lúpulos florales donde se acentúan los sabores aromáticos.

Resumen hervido.

En la Tabla 19 se realiza un resumen del hervido del mosto cervecero, incluyendo los diferentes procesos que se llevan a cabo.

Definición	El mosto obtenido de la cuba filtro se cuece entre 50 – 80 minutos, según el tipo de cerveza a elaborar, en ese periodo de tiempo se produce la adicción de lúpulo para aportarle al mosto componentes amargos y aromáticos y conseguir que los compuestos formados por proteínas y polifenoles precipiten durante la cocción, esta etapa se lleva a cabo en el hervidor.
Procesos	Precipitación de polifenoles y proteínas para evitar su unión, dicha unión sólo tiene efectos negativos en la espuma.
	Tanto la cocción como la adicción del lúpulo ayudan a que el pH baje en torno a 5,2.
	Tasa de evaporación en torno al 4 – 5 %
	Esterilización del mosto cervecero.
	Evaporación de sustancias aromáticas no deseadas (DMS).
	Contenido de Zinc en el mosto, en torno a, 0,10 – 0,15 mg/L.
Adicción de lúpulo	La primera adicción genera amargor, y la segunda al final de la cocción aromas.

Tabla 19. Resumen hervido.

3.6 Whirlpool.

El Whirlpool es un recipiente vertical cilíndrico sin piezas interiores, en el cual, el mosto procedente del hervidor es introducido tangencialmente por bombeo. De tal forma, se produce un flujo rotatorio en el interior del recipiente que hace que el trub caliente sedimente formando un cono en el centro. El mosto limpio se extrae lateralmente, dejando en el centro el trub caliente, como se representa en la Figura 37.



Figura 37. Trub caliente Whirlpool.

- Diseño del Whirlpool.

El fondo del Whirlpool es plano y con una pendiente mínima de en torno al 1% hacia la descarga. La relación de diámetro:altura del contenido del mosto es de 3:1. Además, las paredes se encuentran aisladas externamente para evitar el enfriamiento del mosto en el interior (Figura 38).



Figura 38. Diseño del Whirlpool.

El bombeo del mosto del hervidor al whirlpool es de vital importancia, se ha de evitar que la bomba gire a alta velocidad y hacer que trabaje sin cavitación para que el trub caliente no vuelva a integrarse en el mosto y lo enturbie.

La velocidad de entrada del mosto debe ser en torno a los 3,5 – 4 m/s, para hacer rotar el mosto y lograr el efecto del Whirlpool. La duración de reposo se estima en torno a los 25-30 minutos. Cuanto más breve sea el reposo:

- Produce un menor aumento de la coloración del mosto y por tanto de la cerveza final.
- Mejora la estabilidad de sabor de la cerveza.

Resumen Whirlpool.

En la Tabla 20 se realiza un pequeño resumen de la operación de Whirlpool, donde se incluyen los parámetros más importantes.

Definición	El mosto procedente del hervidor es introducido por bombeo formando un flujo rotatorio y dejando el trub caliente en el centro formando un vórtice, el mosto se queda limpio y el trub es retirado una vez vaciado el whirlpool.
Parámetros de diseño	Pendiente mínima de 1% hacia la descarga.
	Relación diámetro:altura del mosto 3:1
	Paredes aisladas térmicamente.
	Velocidad de entrada en torno a 3,5 – 4 m/s.
	25 – 30 minutos de duración del reposo.

Tabla 20. Resumen whirlpool.

3.7 Enfriamiento.

La levadura sólo puede realizar la fermentación a bajas temperaturas, por lo que se debe pasar el mosto proveniente del whirlpool a 85°C aproximadamente. En torno a 10 – 16 °C según el tipo de levadura a utilizar, se debe enfriar lo más rápidamente posible con los intercambiadores de placas (Figura 39), evitando estar el mínimo tiempo posible entre 20 – 40 °C.

Durante el enfriamiento del mosto, ocurre una serie de procesos que repercutirán en la velocidad de la fermentación y maduración de la cerveza:

- El enfriamiento del mosto; el mosto se debe enfriar rápidamente utilizando el intercambiador de placas a una temperatura de en torno a 11 – 12 °C si hablamos de una cerveza Lager. Un tiempo prolongado a temperaturas intermedias sería negativo para la cerveza puesto habría un gran riesgo de propagación de microorganismos y convertir a la cerveza en no apta para la venta.
- Formación y extracción del trub en frío; a temperaturas inferiores a 60 °C el mosto comienza a enturbiarse debido a la formación de partículas de en torno a 0,5 micras. El trub frío se encuentra formado por taninos y proteínas. En la actualidad, se omite la extracción del trub frío, puesto se realiza una separación óptima del trub caliente y se trabajan con levaduras muy fermentativas por lo que se consiguen buenas estabilidades de sabor y espuma.
- Aireación del mosto; la aireación del mosto se ha de realizar con el mosto frío, puesto a altas temperaturas se produce una fuerte oxidación, el mosto se oscurece y genera un sabor amargo. Sin embargo con el mosto enfriado es necesaria la aireación con oxígeno para la propagación de la levadura durante la fermentación. Es la única vez durante el proceso de elaboración de la cerveza donde se le suministra oxígeno a la cerveza, es consumido por la levadura en poco tiempo y no perjudica la calidad del mosto.

El agua caliente es un punto clave para el ahorro de energía térmica, el mosto se enfría desde los casi 100 °C del

whirlpool hasta en torno 11 – 12 °C en un intercambiador de placas, el agua utilizada para la refrigeración se calienta hasta unos 80 °C por lo que se suele almacenar en tanques y ser usadas para posteriores macerados o lavados de grano.

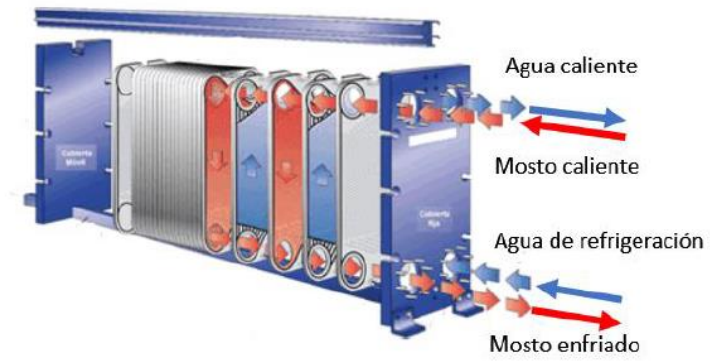


Figura 39. Intercambiador de placas.

4. OPERACIÓN BÁSICA DE FERMENTACIÓN

4.1 Definición de la fermentación alcohólica en el proceso cervecero.

La fermentación alcohólica se define como el conjunto de transformaciones del proceso cervecero (Figura 40). Las transformaciones no solo se limitan a los azúcares simples (fermentables), sino a todos los componentes encontrados en el mosto que son asimilados por la levadura, obteniendo productos que estarán presentes en la cerveza final, como son, el alcohol, dióxido de carbono y energía en forma de calor entre otros.

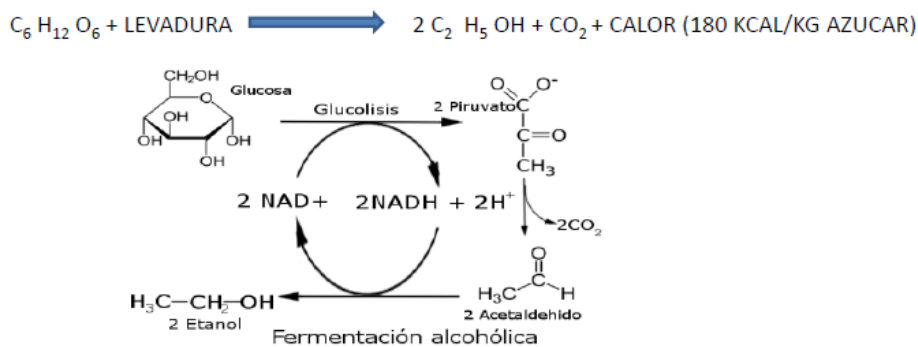


Figura 40. Reacción de Fermentación.

Los compuestos obtenidos del metabolismo de la levadura son muy numerosos, como son, los alcoholes superiores, las cetonas, los aldehídos, los ésteres, las sustancias azufradas, los ácidos grasos que reducen el pH del medio, las transformaciones que afectan a la coloración de la cerveza (reacciones de Maillard), los polifenoles, todos los compuestos obtenidos juegan un papel vital en el sabor y características de la cerveza final.

La fermentación depende de numerosos factores:

- La cepa de levadura, generalmente *Saccharomyces*.
- La composición del mosto.
- La cantidad de levadura que se inocula en el fermentador.
- La temperatura de inoculación de la levadura.
- La temperatura a la que se realice la fermentación.
- El pH del mosto.
- El estado de la levadura: Conteo de células y vitalidad.
- La presión del tanque.
- La densidad inicial del mosto (°P).



Figura 41. Levadura.

La levadura es la artífice y culpable de que se lleve a cabo la fermentación, generalmente se usa *Saccharomyces Cerevisiae*, sus características principales:

- Para el comienzo de la fermentación se debe de airear con oxígeno, gracias a ello fabricará esteroides que le ayudaran a crecer hasta unas 140 millones de células/mL aprox, dependiendo de la cepa y dosis en el pico de crecimiento.
- El ratio de multiplicación varía entre 3 y 5, por lo que una vez que la levadura se inocule en el fermentador crecerá en esa proporción.
- La levadura flocula al final de la fermentación si es Lager, si es Ale puede ir al fondo o a la parte superior, según la cepa que se utilice.
- Ante una mala conservación, se puede estresar la levadura y no aportar buenas características al producto final.
- Su crecimiento puede regularse variando factores como son, la siembra, temperatura...

4.2 Tipos de fermentación.

Dependiendo del tipo de levadura, la temperatura a la que actúa y su comportamiento, se distinguen 3 tipos de fermentación (Tabla 21) que dan lugar a la clasificación básica de los tipos de cerveza, dividiéndolas en tres grandes familias: cervezas de alta fermentación, cervezas de baja fermentación y cervezas de fermentación espontánea.

	Tipos de fermentación		
	Bajas o Lagers	Altas o Ales	Lambicas o Espontáneas
Temperatura de fermentación (°C)	4 – 15	17 – 24	17 – 24
Ratio de Siembra (MillCel/mL*100/°P)	0,8 – 1,8	0,3 – 0,7	Espontánea
Velocidad de fermentación (°P/día)	1,5 – 3	3 – 5	N/A
Lugar de la levadura cuando finaliza la fermentación	Fondo	Superior	Fondo

Tabla 21. Tipos de fermentación.

4.3 Fermentación principal y secundaria.

La fermentación primaria comienza cuando la levadura se introduce en el mosto enfriado por los intercambiadores de placas y aireado. La levadura utiliza de manera instantánea el oxígeno disponible en el mosto para producir esteroides, un compuesto para facilitar la expansión de las células de levadura.

Cuando el oxígeno se acaba, la levadura pasa a la fase anaerobia, donde los azúcares son transformados a dióxido de carbono y etanol. El crecimiento de la levadura ocurre durante esta etapa de la fermentación, el grado y tasa de crecimiento de la levadura están relacionados con la producción de compuestos de aroma y sabor.

Durante la fermentación primaria se produce:

- Gran desprendimiento de dióxido de carbono, como consecuencia de la transformación de la glucosa, maltosa y maltotriosa.
- Producción de alcohol.
- Crecimiento y multiplicación celular.
- Formación de una capa de espuma.
- Producción de calor, por lo que se hace necesario el control de la temperatura, para evitar el descontrol de la velocidad y su impacto negativo en la calidad de la cerveza.
- Reducción de pH.
- Producción de compuestos aromatizantes como ésteres, diacetilo, compuestos que contienen azufre...

La fermentación secundaria se refiere a la etapa después de consumirse la mayoría de los azúcares del mosto y hay una fuerte disminución en la velocidad de la fermentación.

En este periodo, la mayoría de los azúcares finales se agotan y la levadura convierte algunos metabolitos secundarios. La floculación y la sedimentación de la levadura comienzan a ocurrir debido al aumento del contenido de alcohol y al agotamiento de azúcar y los nutrientes.

Durante la fermentación secundaria se produce:

- Afinar el sabor y mejorar su estabilidad coloidal.
- Conversión del diacetilo.
- Se alcanza la gravedad terminal.
- Floculación y sedimentación de la levadura.

4.4 Productos de la fermentación.

Durante la fermentación se generan numerosos compuestos, denominados productos de la fermentación:

- CO_2

El dióxido de carbono son pequeñas burbujas que ascienden a la parte superior de los tanques de fermentación formando el “Krausen” (coliflor en alemán), se produce mientras haya extracto fermentable y la levadura se encuentre activa.

Una parte se queda disuelta en el líquido por lo que se empieza a carbonatar la cerveza, es función de la presión y temperatura, como se aprecia en la Figura 42.

		Temperatura °C															
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Carbonatación Volúmenes CO_2	1.5			0.08	0.16	0.25	0.34	0.43	0.53	0.62	0.72	0.82	0.92	1.03	1.13	1.24	1.35
	1.6		0.06	0.15	0.24	0.34	0.43	0.52	0.62	0.72	0.82	0.93	1.04	1.14	1.26	1.37	1.48
	1.7	0.04	0.13	0.22	0.32	0.42	0.51	0.61	0.72	0.82	0.92	1.04	1.15	1.26	1.38	1.49	1.61
	1.8	0.11	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.71	0.81	0.92	1.03	1.15	1.26	1.38	1.50	1.62	1.74
	1.9	0.17	0.27	0.37	0.48	0.58	0.69	0.80	0.91	1.02	1.14	1.26	1.38	1.50	1.62	1.75	1.87
	2.0	0.24	0.34	0.45	0.56	0.66	0.78	0.89	1.01	1.12	1.24	1.36	1.49	1.61	1.74	1.87	2.00
	2.1	0.31	0.41	0.52	0.63	0.75	0.86	0.98	1.10	1.22	1.35	1.47	1.60	1.73	1.86	2.00	2.13
	2.2	0.37	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.07	1.20	1.32	1.45	1.58	1.71	1.85	1.99	2.12	2.26
	2.3	0.44	0.55	0.67	0.79	0.91	1.04	1.16	1.29	1.42	1.56	1.69	1.83	1.97	2.11	2.25	2.39
	2.4	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.66	1.80	1.94	2.08	2.23	2.38	2.52
	2.5	0.57	0.69	0.82	0.95	1.08	1.21	1.35	1.48	1.62	1.76	1.91	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65
	2.6	0.63	0.76	0.89	1.02	1.16	1.30	1.44	1.58	1.72	1.87	2.01	2.16	2.32	2.47	2.63	2.78
	2.7	0.70	0.83	0.97	1.10	1.24	1.38	1.53	1.67	1.82	1.97	2.12	2.28	2.43	2.59	2.75	2.91
	2.8	0.76	0.90	1.04	1.18	1.32	1.47	1.62	1.77	1.92	2.07	2.23	2.39	2.55	2.71	2.88	3.04
	2.9	0.83	0.97	1.11	1.26	1.41	1.56	1.71	1.86	2.02	2.18	2.34	2.50	2.67	2.83	3.00	3.17
3.0	0.89	1.04	1.19	1.34	1.49	1.64	1.80	1.96	2.12	2.28	2.45	2.61	2.78	2.95	3.13	3.30	

Presiones en bares

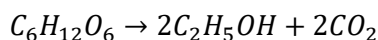
Figura 42. Carbonatación en fermentador f(P, T).

El exceso de dióxido de carbono, se libera a la atmósfera, o se envía a la planta de recuperación de dióxido de carbono (pureza mínima del 99,9 %). Este exceso generado se puede reutilizar un procesos como:

- Carbonatación de la cerveza.
- Contrapresión de tanques fermentadores.
- Procesos de envasado.
- Producción de agua desaireada.

- Etanol.

El alcohol o etanol, es generado durante la fermentación anaeróbica, gracias a la transformación de los azúcares fermentables como son la glucosa, maltosa y maltotriosa.



El nivel de etanol depende de la cantidad de azúcares presentes en el mosto cervecero y el % de atenuación final de la cerveza fermentada. La levadura fabrica y excreta etanol al medio externo, para sobrevivir y evitar la competencia de otros microorganismos.

En la cerveza difícilmente crecerán seres patógenos, debido a su contenido alcohólico y su bajo nivel de pH, en torno a 4,2, pero si es posible que habiten bacterias lácticas, pediococos...

- Calor.

Durante el proceso de la fermentación, la levadura se encuentra metabolizando y transformando la glucosa, maltosa y maltotriosa, esta transformación genera calor (Ciclo de Krebs) a razón de 1 Kg de azúcar = 180 Kcal.

El exceso de calor debe eliminarse mediante los sistemas de refrigeración de los fermentadores, toda planta cervecera debe contar con salas de frío que abastezcan a las camisas de los fermentadores ya sea con glicol o agua alcohólica y mantengan los tanques a la temperatura idónea.

- Alcoholes superiores.

Se forman debido a la reacción de los aminoácidos con el etanol, son los responsables de los olores/flavores de la cerveza.

- N – propil alcohol, aporta a la cerveza un carácter alcohólico.
- Iso butyl alcohol, genera un carácter vínico a la cerveza.
- Iso amyl alcohol, aporta a la cerveza alcoholes de bourbon/whisky.
- Phenethyl alcohol, aporta toques florales y esteroides.

- Esteres.

En la etapa de la fermentación, se produce la formación de numerosos compuestos denominados esteroides, aportan toques negativos tanto de sabor como de olor a la cerveza, se pueden encontrar (Figura 43): (Curso experto en ciencia y tecnología de la elaboración de cerveza. ETSI, US)

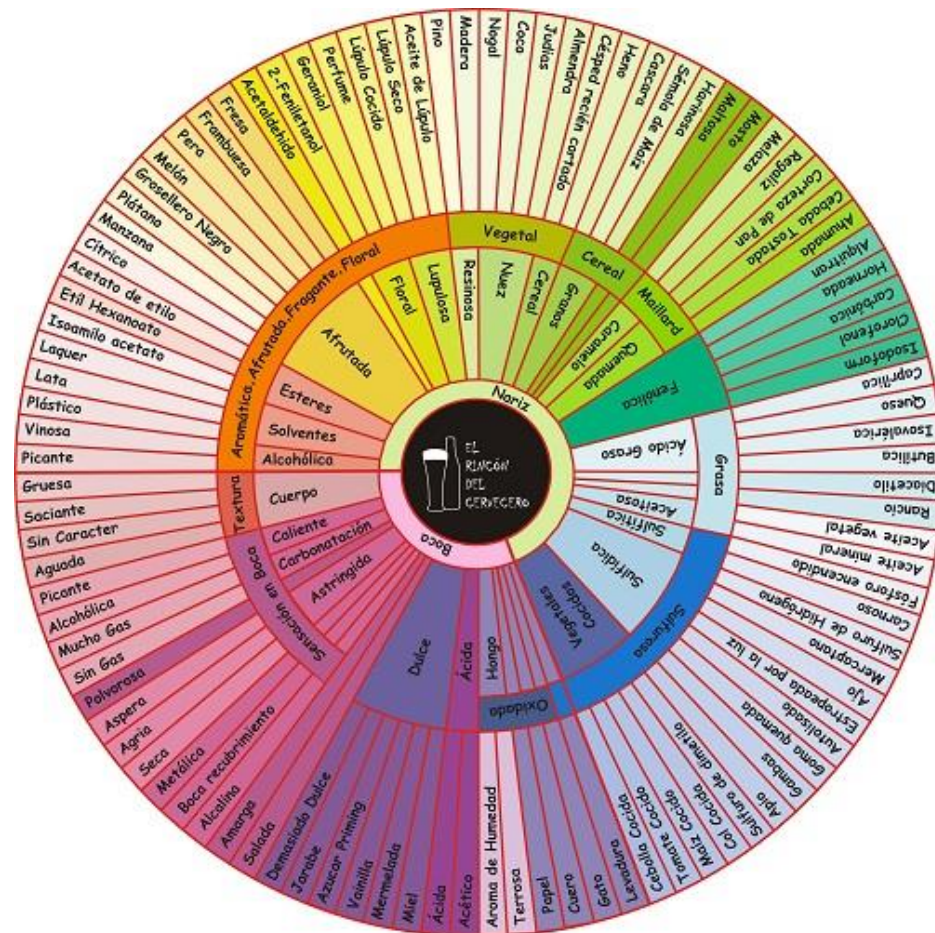


Figura 43. Rueda de sabores y aromas de la cerveza.

- Acetato de Etilo; detectable a partir de 30 mg/L y su flavor recuerda a disolvente.
- Hexanoato de Etilo; detectable a partir de 0,2 mg/L, su flavor recuerda a manzana, anís.
- Octanoato de Etilo; detectable a partir de 0,5 mg/L, su flavor recuerda a manzana, dulce.
- Acetato Isoamilo; detectable a partir de 0,8 mg/L, su flavor recuerda a plátano.
- Acetaldehído; detectable a partir de 6 – 8 mg/L, su flavor recuerda a manzana verde, sidra, hojas verdes...
- Ácido acético; detectable a partir de 30 – 200 mg/L, su flavor recuerda a ácido, sidra, manzana ácida, avinagrado.
- Ácido butírico; detectable a partir de 0,5 – 1,5 mg/L, su flavor recuerda a vómito, rancio.
- Ácido caprílico; detectable a partir de 4 - 6 mg/L, su flavor recuerda a cabra, sebo, aceite vegetal...
- Ácido láctico; detectable a partir de 0,2 – 1,5 mg/L, su flavor recuerda a cítrico, leche ácida, yogurt.
- Dimetil Sulfuro DMS; detectable a partir de 10 – 150 mg/L, su flavor recuerda a maíz en lata, berberechos, sulfuroso.
- Diacetilo; detectable a partir de 0,15 – 0,5 mg/L, su flavor recuerda a mantequilla, palomitas.
- Terroso; detectable a partir de 5 mg/L, su flavor recuerda a tierra, hierro, mineral.
- Dióxido de azufre; detectable a partir de 10 mg/L, su flavor recuerda a cerilla encendida, huevos podridos.

- Ácidos grasos.

Son los responsables de la reducción del pH durante la fermentación, muchos de ellos vienen con el mosto. Aportan a la cerveza el carácter ácido y áspero, los más habituales:

- Ácido láctico.
- Ácido acético.
- Ácido pirúvico.
- Ácido málico.

- Diacetilo (Butanodiona o butano – 2,3 – diona).

Es un subproducto del metabolismo de los aminoácidos, posee un gran impacto en la bebestibilidad de la cerveza. Huele a mantequilla y su umbral de detección es muy bajo (20 ppb).

- Acetaldehído.

Producto de la fermentación generado por la autólisis de la levadura, el alcohol generado durante esta etapa de fermentación en contacto con el oxígeno puede llegar a oxidarse y transformarse en acetaldehído, generando sabores y olores a manzana verde inmadura.

Puede ser causado por la cepa de levadura que se use, una contaminación por la bacteria acetobacter o por una terminación anticipada de la fermentación.

Se puede evitar con una buena limpieza y desinfección de los equipos a utilizar si el causante es la bacteria acetobacter, una buena oxigenación en el mosto para tener una fermentación buena, conocer bien la cepa de levadura que se le añade al mosto y a la temperatura que debe de estar durante esta etapa.

- Dióxido de Azufre (SO₂).

Es un antioxidante generado naturalmente durante la etapa de fermentación y muy necesario para síntesis de aminoácidos. Si el contenido de dióxido de azufre supera los 10 ppm hay que declararlo en la etiqueta del producto, puesto es considerado como un alérgeno. Juega un papel fundamental en la frescura de la cerveza.

4.5 La Atenuación.

La atenuación (%), es la medida de la transformación de los azúcares fermentables a alcohol durante la fermentación, la disminución de la densidad para así controlar el progreso de la fermentación.

$$\text{Atenuación}(\%) = \frac{(\text{ExtractoOriginal} - \text{ExtractoActual})}{\text{ExtractoOriginal}} * 100$$

El porcentaje de atenuación es aplicable tanto en la fermentación primaria como en la secundaria y representará el extracto transformado en cada fase.

Por otro lado también se calcula el % atenuación límite, se realiza con una prueba forzada en el laboratorio y representa el mayor valor alcanzable de atenuación, es decir, el extracto fermentable del mosto.

- Importancia de la atenuación.
- Diferencia la etapa de fermentación/maduración.
- La diferencia del porcentaje de atenuación entre ambas etapas determina el potencial de actividad de la fermentación secundaria.
- En el producto final, el % de atenuación depende del perfil que se le quiera dar.
- La cerveza final, es más inestable cuanto más alejada esté la atenuación secundaria de la atenuación límite.
- A mayor atenuación mayor estabilidad.
- En cervezas con alcohol, raramente se encuentren gérmenes patógenos, por su bajo pH y su contenido alcohólico.
- El alcohol tiene más efecto sobre el cuerpo que una atenuación baja.

4.6 Cálculo dosis de siembra de levadura en fermentadores.

La siembra de levadura en el mosto se lleva a cabo mediante un cálculo según el tipo de levadura que se desee inocular (Figura 44). Los parámetros para tener en cuenta son los siguientes:

- Viabilidad o mortalidad de la levadura.
- Pastosidad de la levadura almacenada.
- Volumen de mosto a sembrar en hectolitros.
- Dosis de siembra, dependiendo del tipo de levadura:

Lager: 1,5 MillCel/°P

Ale: 0,5 MillCel/°P

- Conteo de células de levadura mediante el microscopio.

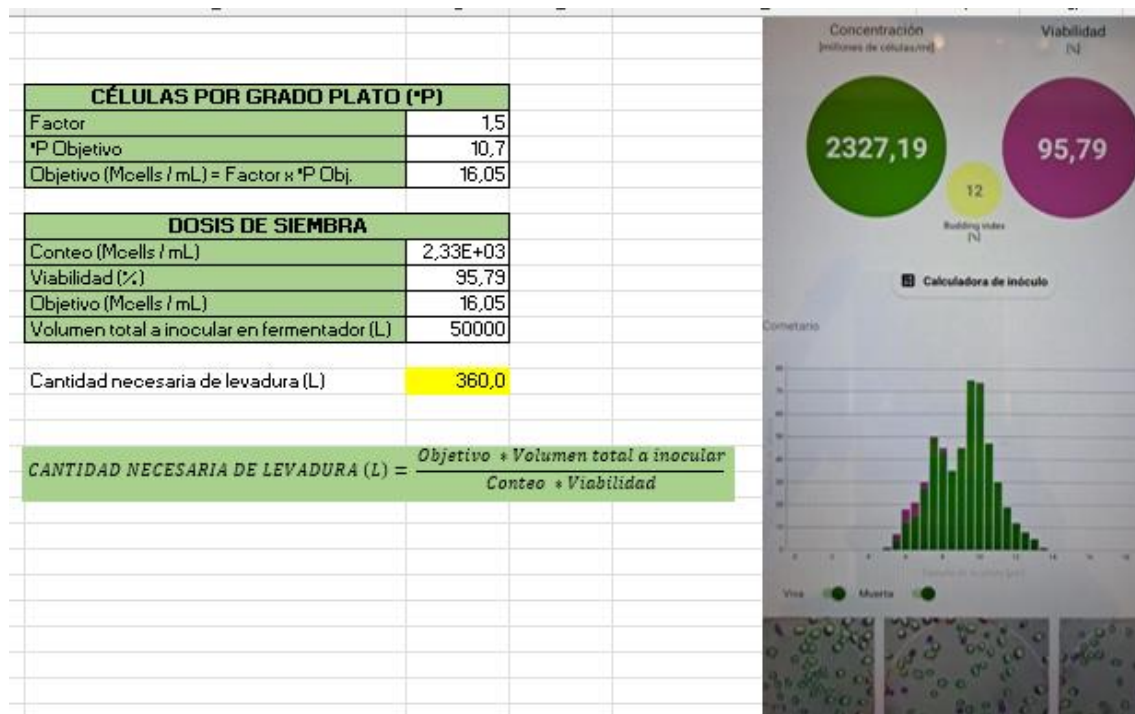


Figura 44. Dosis de siembra.

Una vez se conocen todos los parámetros mencionados anteriormente, se lleva a cabo el cálculo de la dosis de siembra de levadura en el fermentador.

El primer valor será el “Objetivo”, se calcula multiplicando la dosis de siembra según el tipo de levadura por la densidad final que se desea en la cerveza en grado plato (°P).

El segundo parámetro es el volumen total que se introduce de mosto en el fermentador.

El tercer y cuarto parámetro se obtienen en laboratorio midiendo la muestra de levadura y obteniendo el número de células por mililitro y la viabilidad de ellas, una vez se tienen los cuatro parámetros se calcula la cantidad necesaria de levadura a inocular en el fermentador.

4.7 Diseño y forma de los tanques cilindro cónicos de fermentación.

Los tanques cilindro cónicos de fermentación se construyen con una parte superior cilíndrica y una parte inferior cónica, de tal forma que la levadura que precipite en el cono pueda ser extraída para cosecharla o para su desecho. Respecto al material de construcción, en tiempos pasados se construían de acero inoxidable (acero al carbono) y se añadía un recubrimiento de resina epoxi para protegerlos de la cerveza. Actualmente se construyen de acero inoxidable al cromo-níquel, denominado acero tipo V2A.

Además, para el mando, control y seguridad de los tanque es necesario que cuenten con:

- Dispositivos de llenado y vaciado, como son, tuberías de suministro de mosto, de carga de levadura, de CIP.
- Válvulas de seguridad.
- Instrumentos de control.
- Equipo para CIP.

El tamaño de los tanques se dimensiona conforme a la producción de la sala de cocción, debido a que deben de recibir la producción de un día como máximo ya que:

- o Si el tanque es demasiado grande con relación a la sala de cocimiento, una vez el primer mosto entra en el fermentador y es inoculado con la levadura, el tiempo máximo para introducir los siguientes mostos es de en torno a 24 horas.
- o Por el contrario, si la levadura no se introduce en el fermentador hasta que entra el último mosto, hay un gran riesgo de contaminación en todos los mostos introducidos anteriormente.
- o Además, la carga de glicol para el enfriamiento del tanque es mucho mayor y por tanto más costosa.

La mayoría de los diámetros de tanque se encuentra entre 3 – 5 metros, el ángulo interior del cono se encuentra entre 60 – 75 ° y la relación entre el diámetro y altura de mosto en el tanque de fermentación debe de encontrarse entre 1:1,5 y 1:2 (Figura 45).

El cálculo del contenido de mosto en un tanque de fermentación se determina con la suma entre:

- Parte cilíndrica. $V_{cil} = r^2 * \pi * h$
- Parte cónica. $V_{con} = \frac{r^2 * \pi * h}{3}$

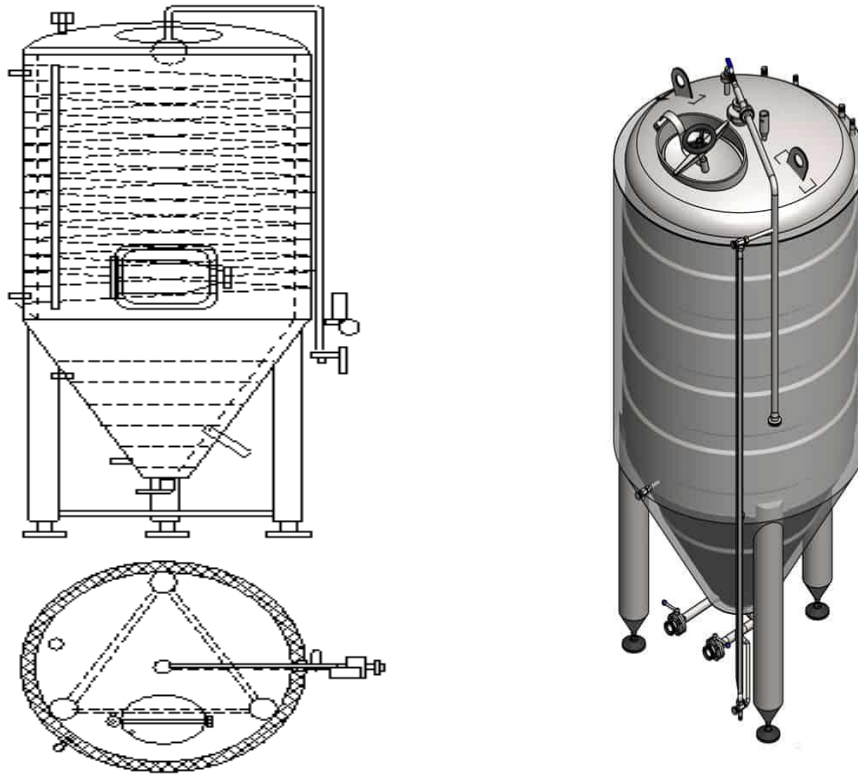


Figura 45. Diseño tanque de fermentación.

Sin embargo los tanque de fermentación no pueden se llenados completamente para la fermentación, puesto que en esta etapa se produce una capa de espuma considerable que puede salir por la tubería y causar el aglutinamiento de las válvulas de seguridad bloqueándolas y dejándolas fuera de funcionamiento. Por lo cual, se debe de dejar en torno al 20 – 25 % de volumen de mosto ocupado vacío en el inicio de la fermentación.

4.8 Cosecha de levadura del tanque cilindro cónico.

La cosecha de levadura es una parte del proceso vital para el cervecero en la que intervienen dos factores bien diferenciados:

- Momento de la cosecha de levadura.

La levadura no decanta tal como se desea, pues durante la fermentación se producen numerosas turbulencias. Una vez finaliza la fermentación, comienza el reposo en frío, la cantidad principal de levadura sedimentará hacia el cono poco a poco.

Es entonces el momento de realizar la cosecha de la levadura ya que la levadura en el cono sufre, sobre todo bajo la presión parcial del dióxido de carbono.

- Método de la cosecha de levadura.

La levadura se cosecha del cono del tanque antes de que la cerveza sea trasegada. La levadura puede ser cosechada aprovechando la presión de la columna de cerveza que se encuentra encima de ella, o utilizando una bomba lobular para mantener constante el caudal.

Es importante que la levadura descienda lentamente por el cono y que mantenga la interfase horizontal entre la levadura y la cerveza sin formar vórtices que hagan que se cuele cerveza y se deje levadura en las paredes del fermentador, esto ocurre si se cosecha demasiado rápido o el ángulo del cono del fermentador es de poca inclinación. (Figura 46)

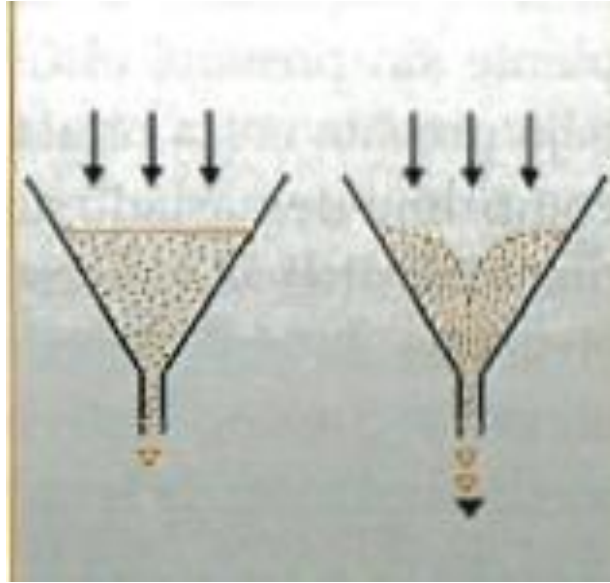


Figura 46. Levadura en el cono del fermentador.

El tanque que reciba la levadura cosechada debe estar contra presionado en torno a 0,4 – 0,5 bar para mantener a la levadura en sus condiciones óptimas de presión, si se descargase al tanque sin presión la levadura se descomprimirá muy rápidamente provocando una situación de estrés y un posterior mal rendimiento.

Además, se contará con un sistema de extracción de dióxido de carbono, abastecimiento de oxígeno y sistema de refrigeración, muy importantes para la vitalidad de la levadura en sus posteriores generaciones.

5. OPERACIÓN BÁSICA DE TRASVASE/GUARDA

La estabilización de la cerveza es uno de los muchos puntos críticos que se encuentran durante la elaboración. Si la cerveza se consume lejos del centro de producción o en un rango de tiempo amplio, puede estropearse, enturbiándose y ser por lo tanto imbebible en un corto periodo de tiempo si no se cumplen con los estándares de estabilidad.

Existen numerosas causas por las que la cerveza puede enturbiarse:

- Microorganismos contaminantes en la cerveza que se propaguen, enturbien la cerveza y la conviertan en no apta para el consumo por excreción de productos metabólicos.
- Coloides contenidos en la cerveza que aumentan su tamaño con el tiempo y la enturbian.
- La cerveza empeora su sabor con el tiempo.

El brillo de la cerveza, junto con el sabor y la espuma son factores decisivos en la valoración de su calidad que cualquier consumidor puede verificar sin la ayuda de ningún experto. Para garantizar estos factores y por lo tanto su estabilidad en el tiempo se disponen de dos medios diferenciados:

- Estabilización biológica de la cerveza.
- Estabilización coloidal de la cerveza.

5.1 Estabilización biológica de la cerveza

Una vez finalizado el mosto, éste es estéril microbiológicamente, los microorganismos que pueden provocar contaminaciones sólo pueden formarse por malas limpiezas. Pueden propagarse en la cerveza hasta formar turbidez en ella y hacerla prácticamente imbebible.

La estabilidad biológica de la cerveza se acorta por:

- Un modo de trabajo sucio.
- Una aireación de la cerveza en la parte de envasado.
- Una sobrecarga de la instalación de filtrado de la cerveza.
- Un almacenamiento del envasado a temperaturas elevadas.

De todos los factores el más influenciado por el maestro cervecero es la limpieza en el trabajo, por lo que debe de seguir y cumplir una serie de buenas prácticas en cervecería como son:

- Uso de ropa limpia e higiene personal.
- Desmontar, limpiar y desinfectar los grifos o tomas de muestras.
- Mantener y cumplir el esquema de limpieza y desinfección de la planta.
- Verificar las limpiezas y desinfecciones.

Puesto que la cerveza debe de mantenerse y conservarse en condiciones óptimas para su venta y consumo hasta la fecha de consumo límite, todos los contaminantes que puedan encontrarse en la cerveza deben ser eliminados o convertidos en inofensivos, para ellos se dispone del tratamiento de calor por pasteurización.

La pasteurización se define como la eliminación de microorganismos en soluciones acuosas por medio del calentamiento del producto. Si la cerveza se expone a una temperatura elevada, los microorganismos serán eliminados en un corto periodo de tiempo.

Uno de los tipos de pasteurización, es la pasteurización flash (Figura 47), en la que la cerveza es calentada gracias a un intercambiador de calor de placas en torno a 70 °C durante aproximadamente 30 – 40 segundos y

posteriormente se vuelve a enfriar aproximadamente en torno a 2 – 4 °C. todo el proceso tiene una duración de apenas 2 minutos y no influye en la calidad de la cerveza final. Es importante que la presión nunca esté por debajo de la presión de saturación de CO_2 , y que la presión de la cerveza caliente sea mayor que en el lado de la cerveza entrante, para ello son necesarias bombas de altas presiones, en torno a 12 bar.



Figura 47. Pasteurizador en línea (flash) de cerveza.

A medida que aumenta la temperatura de pasteurización, menor es el tiempo en eliminar los microorganismos contaminantes de la cerveza, la unidad de medida de la pasteurización, se denomina unidades de pasteurización (UP) y se define como el tiempo de mantenimiento en caliente de 1 minuto a 60 °C y se calcula:

$$UP = tiempo * 1.393^{(temperaturaenelcalentador-60^{\circ}C)}$$

Las unidades de pasteurización (UP) necesarias variarán en función de la cerveza a pasteurizar y del grado de contaminación detectada en ella, cuanto mayor sea la cantidad de gérmenes detectados, mayor será la UP requerida, normalmente entre 20 – 27 UP.

Si elegimos por ejemplo 20 UP (Tabla 22) necesarias para nuestra cerveza, el mantenimiento en caliente será:

Temperatura (°C)	UP	Tiempo necesario (min)
64	20	5,312
66	20	2,737
68	20	1,411
70	20	0,727
72	20	0,375

Tabla 22. UP según temperaturas.

El efecto exponencial aumenta considerablemente a mayor temperatura, una mayor temperatura quiere decir un menor tiempo de mantenimiento en caliente, es un proceso crítico, puesto la temperatura debe ser mantenida

cuidadosamente para evitar deterioros en el producto final.

5.1.1 Pasterización tipo túnel.

La cerveza embotellada o enlatada también debe pasar por el pasteurizador, en este caso no por el flash sino por un pasteurizador tipo túnel (Figura 48). Se necesita que ambos formatos estén en el pasteurizador en torno a 15 - 30 minutos, por lo que se requiere un gran espacio para el pasteurizador en el área de envasado, además son equipos con grandes costos de inversión y con una alta demanda de energía, en torno a 70 – 100 MJ/1000 botellas.

El calentamiento en estos tipos de formato de manera homogénea es muy complicado de conseguir, debido a que el intercambio ocurre a través de las paredes de vidrio que no es un buen transmisor de calor. Las partes cercanas a las paredes de la botella alcanzan con rapidez la temperatura de pasteurización, en cambio el núcleo frío que se encuentra en torno a 1,5 cm por encima del fondo de la botella, es el lugar donde se debe verificar que se alcanza la temperatura de pasteurización.

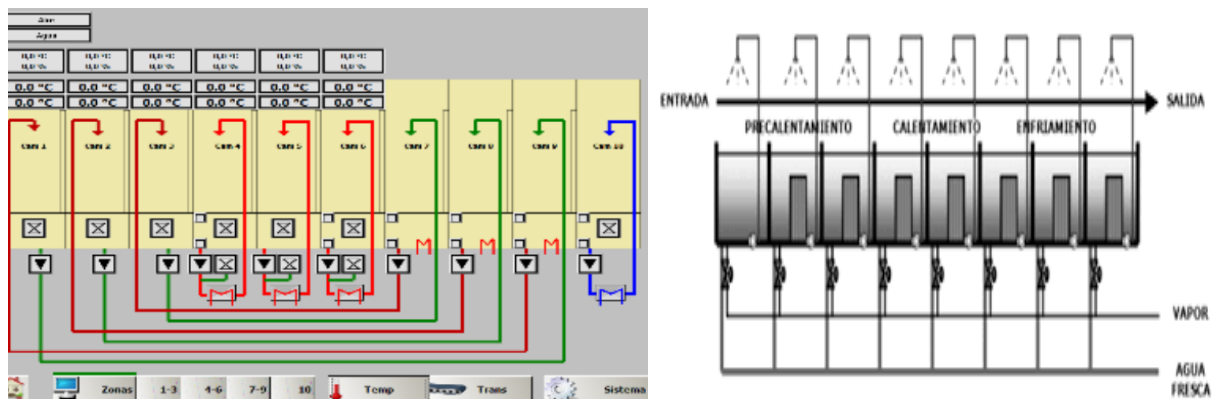


Figura 48. Control y esquema pasteurizador tipo túnel.

Durante el proceso de pasteurizado en túnel (Figura 49), se genera una gran presión en el interior de la botella, se debe a que la cerveza se dilata en el calentamiento, es importante verificar durante el proceso de envasado que el espacio vacío de la botella no esté por debajo del 4 %, puesto será ocupado por el líquido dilatado y así se evitarán roturas en las botellas.

Una vez las botellas o latas son calentadas hasta la temperatura de pasteurización, posteriormente son enfriadas de nuevo.



Figura 49. Pasteurizador tipo túnel.

5.2 Estabilización coloidal de la cerveza

Aunque la cerveza se haya pasteurizado, con el tiempo se terminará enturbiando, debido a las sustancias disueltas de forma coloidal en la cerveza.

La turbidez puede aparecer de forma reiterada o desaparecer si se extrae uno o ambos componentes que la forman (proteínas y polifenoles). Para ello existen numerosas medidas de extraerlos y prevenir la formación:

- Prevenir durante la producción la formación de muchos compuestos proteicos.
- Extracción de parte de los productos complejos de degradación proteica.
- Degradación enzimática de los productos proteicos.
- Eliminación de los polifenoles de la cerveza.
- Almacenamiento en frío.
- Nulos niveles de oxígeno.
- Evitar movimientos de la cerveza.
- Almacenamiento sin luz.

Aparte del uso de las medidas tecnológicas para la mejora de la estabilidad coloidal de la cerveza, se necesitan el uso de agentes estabilizadores para obtener una buena estabilidad en el producto final. Entre las medidas tecnológicas se encuentran:

- Procesamiento de cebadas más pobres en proteínas.
- Proceso de germinación prolongado y frío en las malterías.
- Tostado intensivo.
- Buena separación de las cáscaras durante la molienda.
- Alcanzar una elevada atenuación límite.
- Reposo proteico prolongado.
- Cocción elevada e intensiva, para provocar la precipitación de proteínas.
- Control de la formación de flóculos.
- pH del mosto caliente en torno a 5,1 – 5,2.
- Adicción no demasiado temprana del lúpulo.
- Maduración en frío mínima de 7 días en torno a 0 °C para la decantación de partículas de turbidez en frío.
- Evitar la utilización de oxígeno, sólo utilizar dióxido de carbono puro.

5.2.1 Adicción de agentes estabilizadores.

Las cervezas con estabilidades prolongadas se consiguen gracias a la adicción de los agentes estabilizadores, además de todos los factores y procesos mencionados anteriormente. Se utilizan como agentes estabilizadores:

5.2.1.1 Silica Gel.

Los preparados de silica gel son obtenidos a partir de ácido sulfúrico y silicato sódico, son estabilizadores que atrapan a las sustancias albuminoideas (proteínas) encargadas de producir la turbidez en la cerveza y eliminarlas, estos preparados no tienen connotaciones negativas a la hora de la espuma final. Se utilizan cantidades en torno a los 40 – 60 g/HL y se adicionan normalmente durante el trasvase para la maduración. Los preparados se pueden

encontrar:

- Silica gel en forma de hidrogeles con humedad mayor al 50 %.
- Silica gel en geles secos con un 5 % de humedad.

Se forman preparados con poros tanto amplios como estrechos. Los de poros estrechos cuentan con un rendimiento menos a la hora de atrapar a las sustancias albuminoideas ya que no aprovechan totalmente su superficie, los de poros amplios tiene una fuerza de adsorción reducida. El radio de poro más común se encuentra entre 3 – 3,5 micras donde la adsorción de proteínas es óptima.

5.2.1.2 Polivinilpolipirrolidona (PVPP)

La polivinilpolipirrolidona o más conocido como PVPP, es un compuesto que se encarga de atrapar a los polifenoles que se encuentran en la cerveza y eliminarlos, evitándose así la unión con las proteínas y por ello la formación de turbidez. Es un polvo insoluble en todos los solventes conocidos y que únicamente se hincha con el agua.

La extracción de los polifenoles se basa en una formación de puentes de hidrógeno, dependiente del valor del pH, en solución alcalina disocian nuevamente los compuestos fenólicos (polifenoles) adsorbidos, se utiliza en torno a 30 – 50 g PVPP/HL.

Se utiliza la PVPP en combinación con la silica gel, pero a veces también se utiliza sola. Para la estabilización se puede:

- Adicionar en un aparato dosificador en línea.
- Estabilizar con capas filtrantes que contienen PVPP.
- Realizar la estabilización de la cerveza por PVPP en el proceso de reciclado

6. OPERACIÓN BÁSICA DE FILTRACIÓN.

Una vez finalizado el proceso de maduración de la cerveza, la cerveza se encuentra libre de oxígeno, pero en cambio quedan contenidas células de levadura y otras partículas de turbidez como sólidos en suspensión, los cuales deben ser eliminados sin que tenga acceso a la cerveza el oxígeno en ningún momento.

La filtración es un proceso de separación que su principal función es hacer que la cerveza se conserve de manera que por un tiempo estipulado y prolongado no se produzcan cambios visibles, ocurre de tal manera que la cerveza turbia (líquido no filtrado) se separa por un medio filtrante en un líquido filtrado clarificado y un residuo de filtración queda retenido.

La filtración es impulsada por una presión diferencial entre la entrada del filtro y la salida de este. La presión del lado de entrada del filtro es siempre mayor a la presión del lado de salida. Cuánto mayor es la diferencia de presión mayor en la resistencia ejercida por el filtro a la filtración. Esta presión diferencial aumenta hacia el final de la filtración.

6.1 Mecanismos de separación.

La cerveza sin filtrar, con células de levadura y partículas turbias se pasa a través de un lecho filtrante, se diferencian dos mecanismos de separación:

- Filtración de tamiz o de superficie. Las partículas contenidas en la cerveza son retenidas ya que no pueden atravesar los poros del medio filtrante por lo que el espesor aumenta con el tiempo (Figura 50).

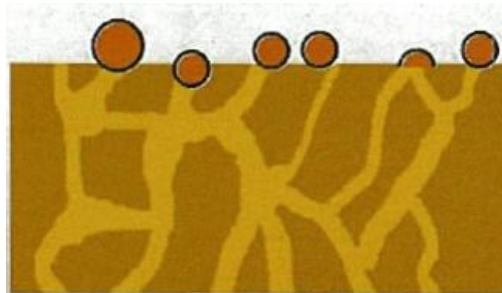


Figura 50. Filtración de superficie.

- Filtración de profundidad. Compuestos por materiales altamente porosos que obligan a la cerveza a recorrer caminos tortuosos debido a la gran superficie y su peculiar estructura (Figura 51).

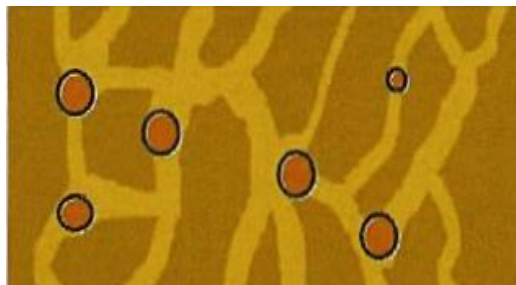


Figura 51. Filtración de profundidad.

6.2 Medios filtrantes.

Como medios filtrantes se utilizan:

- Tamices de todo tipo, como metálicos, cribas de barras...
- Tejidos metálicos o textiles, los metálicos se dejan limpiar muy bien, en cambio los textiles son más complicados y no se usan en la filtración de la cerveza puesto no se esterilizan bien.
- Capas filtrantes de celulosa, perlita, fibra de vidrio... se utilizan hoy en día con amplios grados de filtración llegando hasta la filtración esterilizante.
- Filtros de grava para la filtración de agua
- Membranas de poliuretano, poliacrilato, poliamidas, polietileno...

6.3 Tipos de filtros.

En la industria cervecera, se encuentran numeroso tipos de filtros que se encargan de dejar la cerveza transparente y clarificada, se usan los siguientes:

- Filtro de masa.
- Filtro de placas.
- Filtro de membrana.

6.3.1 Filtro de masa.

El filtro de masa (Figura 52) en la actualidad no es de los más usados, de hecho está casi obsoleto. La cerveza se conduce a través de una capa filtrante de grosor en torno a 6 cm de espesor y al pasar por ahí la cerveza es filtrada. La capa filtrante se compone de algodón al que se le adiciona un 1 % de amianto para producir una filtración más fina, ante la prohibición del amianto el filtro se empieza a dejar de usar y cambiarlo por otros tipos, además de los elevados costes y desventajas que tiene, como:

- Desmontaje de las placas del filtro tras cada filtración.
- Las placas se deben lavar y esterilizar.
- La masa filtrante se debe de comprimir en una torta de masa filtrante.
- El filtro se debe de montar de nuevo al tener todas las placas limpias y estilizadas.
- Alto trabajo manual y gran demanda de energía en el lavado de las placas.
- Gran demanda de agua para lavado.
- Superficie filtrante demasiado pequeña.

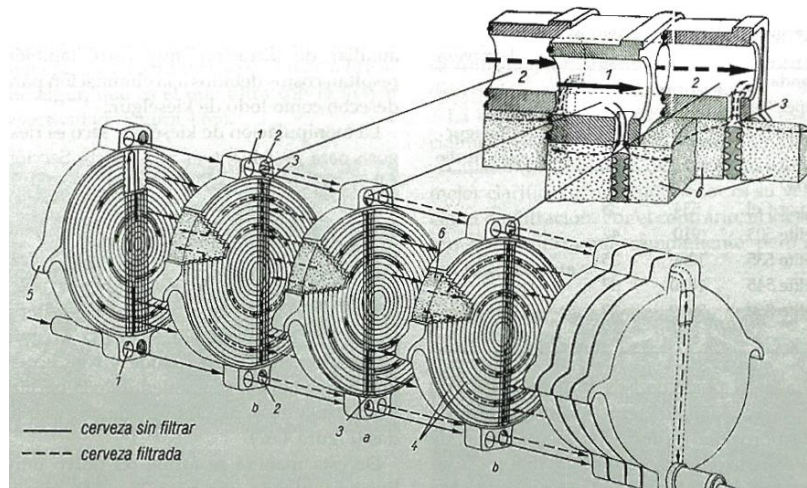


Figura 52. Filtro de masa.

6.3.2 Filtro de placas.

El filtro de placas (Figura 53) se compone únicamente por placas, entre las placas se colocan placas filtrantes, donde ocurre la filtración. La cerveza entra en cada segunda placa por arriba y por debajo, pasa a través de la placa filtrante y sale por la placa vecina. De este modo hay una placa filtrante entre cada par de placas, están compuestas por celulosa. Con el uso de las placas filtrantes su rendimiento se disminuye de tal forma que baja el caudal máximo al que se puede filtrar en el medio filtrante, por ello, se pueden tener placas filtrantes para: *(Filtro de placas cerveza - Google Suche. 2017. Google.)*

- Filtración gruesa.
- Filtración de clarificación.
- Filtración fina.
- Filtración esterilizante.

Posee considerables desventajas que limitan su utilización general:

- Tiene un gran requerimiento de espacio y demanda gran esfuerzo laboral.
- En una fábrica solo es posible el contra lavado de las placas filtrantes.
- Los gastos de operación son elevados.
- El filtro se debe esterilizar con agua caliente y enjuagar con agua fría.
- El aire se debe desplazar fuera del filtro.
- No es automatizable y se debe limpiar manualmente.
- Es susceptible frente a concentraciones altas de sólidos.



Figura 53. Filtro de placas.

6.3.3 Filtro de membranas.

Este tipo de filtros se utilizan mayoritariamente ya que entre sus funciones principales destaca la reducción de gérmenes y esterilización. La cerveza se pasa a través de membranas de poros muy finos, en los cuales se quedan retenidos todas las partículas, microorganismos que hacen que la cerveza se enturbie y queda una cerveza liberada de partículas y clarificada. Las membranas se conocen como: *(Filtro de cartuchos de membrana - Google Suche. 2018. Google)*.

- Módulos filtrantes, filtro de módulos (Figura 54).
- Cartuchos de membranas, filtro de cartuchos (Figura 55).

Antes de realizar la filtración para que su rendimiento sea máximo, se deberán realizar purgas en los fermentadores cilindro cónicos y tener durante una serie de días el producto en torno a 0 °C para que la mayoría de las partículas decanten y que en esas purgas sean eliminadas, dejando la cerveza lo más clarificada posible y quitándole gran parte del trabajo al filtro.

- **Filtro de módulos.** Son elementos filtrantes circulares de hasta 40 cm de diámetro compuestos por celulosa, la filtración se realiza de fuera hacia dentro, descargan en una columna central a través de un elemento distanciador integrado. Las placas filtrantes pueden ser de mayor o menor tamaño de poros con lo que implica que según el tamaño de poros el caudal de filtración será mayor o menor. El filtro de módulos está compuesto por un paquete grande de módulos conectados de forma paralela e instalados en una carcasa correspondiente. Además existen módulos filtrantes con rellenos de PVPP para la extracción de los polifenoles.



Figura 54. Filtro de módulos.

- **Filtro de cartuchos de membrana.** En esta operación la filtración ocurre a través de cartuchos filtrantes, lo cuales se conectan en paralelo y son instalados dentro de una misma carcasa.



Figura 55. Filtro de cartuchos de membrana.

Los cartuchos filtrantes tienen varias capas filtrantes, están fabricados de polipropileno generalmente y su estructura se estrecha desde fuera hacia dentro, de tal forma que se produce una retención fraccionada con una gran superficie de filtración, por ello también se conocen como cartuchos filtrantes de profundidad. En cuanto a la disposición a la que se encuentran las capas filtrantes de los cartuchos, se pueden encontrar en algunos casos los cartuchos plegados o plisados de las capas filtrantes por lo que se aumenta la superficie filtrante.

7. OPERACIÓN BÁSICA DE CARBONATACIÓN.

Durante todo el proceso de fabricación de la cerveza una vez se llega a las etapas finales, la cerveza debe mantener su contenido de dióxido de carbono (CO_2) hasta la botella, lata o barril. Puede ocurrir que el contenido de CO_2 haya disminuido por presión reducida o mayor temperatura en los fermentadores y se deba reajustar antes del envasado.

En estas situaciones se debe añadir a la cerveza el CO_2 perdido para llegar a la concentración objetivo, este proceso se denomina carbonatación y se intercala un equipo antes del envasado. El contenido de carbónico tanto para latas, botellas como para barriles no es el mismo, y se ha de tener en cuenta en el momento de pasar la cerveza por el carbonatador.

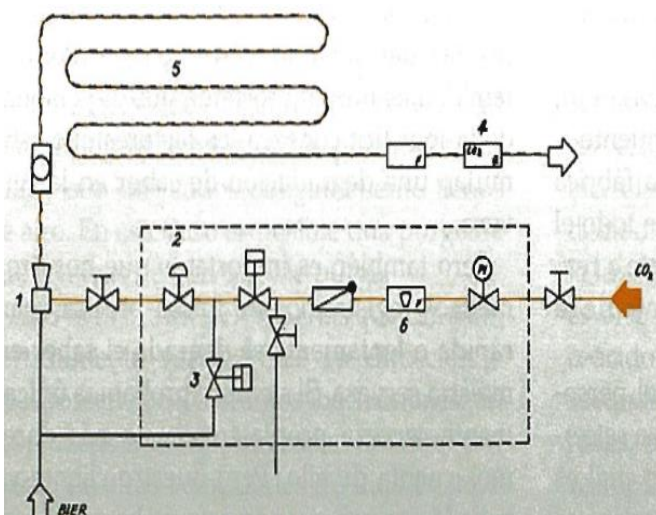


Figura 56. Carbonatador de cerveza.

7.1 Etapas equipo de carbonatación.

En el equipo de carbonatación se atomiza CO_2 (Figura 57) y es disuelto en la cerveza en el interior de los largos tramos de tuberías en forma de codos por el que tiene que pasar la cerveza durante el recorrido.

- El CO_2 se debe atomizar lo más fino posible y debe tener la posibilidad de disolverse en la cerveza en el tiempo que tarde en recorrer las tuberías.
- En el primer momento la ligadura CO_2 – Cerveza es débil, dura algún tiempo el enlace fuerte con la cerveza.



- (1) Tobera Venturi.
- (2) Válvula reguladora de CO₂.
- (3) Válvula CIP.
- (4) Sensor CO₂.
- (5) Tramo disolución CO₂.
- (6) Caudalímetro CO₂.

Figura 57. Equipo de carbonatación.

El equipo de carbonatación posee una válvula de mantenimiento de presión constante, la cual se necesita ya que la presión estática varía constantemente con el llenado del tanque de presión y esta la regula. Por motivos de calidad se debe de tener en este punto el mayor grado de pureza del CO_2 , puesto que una introducción de oxígeno en este momento causaría un gran deterioro en la calidad de la cerveza final.

Posterior al equipo de carbonatación no hay ningún filtro que se encargue de eliminar partículas del producto final por lo que ha de tener una gran limpieza en el equipo.

Una mala limpieza en la que se introduzcan partículas en la cerveza reduciría la estabilidad de la cerveza envasada.

8. OPERACIÓN BÁSICA DE ENVASADO.

La cerveza es envasada en:

- Botellas de vidrio.
- Latas.
- Kegs o barriles.

Durante el proceso de envasado deben conservarse todos los parámetros de calidad en la cerveza y evitar el ingreso de aire en el interior de los diferentes recipientes. Para llevar a cabo la operación de envasado se necesita un sistema integral de máquinas, embalaje y transporte, además se debe cuidar mediante un sistema de control que solo salgan a la venta botellas, latas o barriles que cumplan con todos los parámetros de calidad definidos. (*Tecnología para malteros y cerveceros, Wolfgang Kunze, 2006*)

8.1 Envasado en botellas de vidrio.

La cerveza es una bebida que contiene CO_2 por lo que se debe mantener en las botellas hasta que sea consumida por el cliente. Es necesario por tanto llenar las botellas lo más rápido que se pueda y taponarlas inmediatamente, por eso mismo las llenadoras actualmente están fabricadas en bloque y son consideradas de forma conjunta. Los diferentes componentes y fases de las llenadoras son los siguientes (Figura 58):

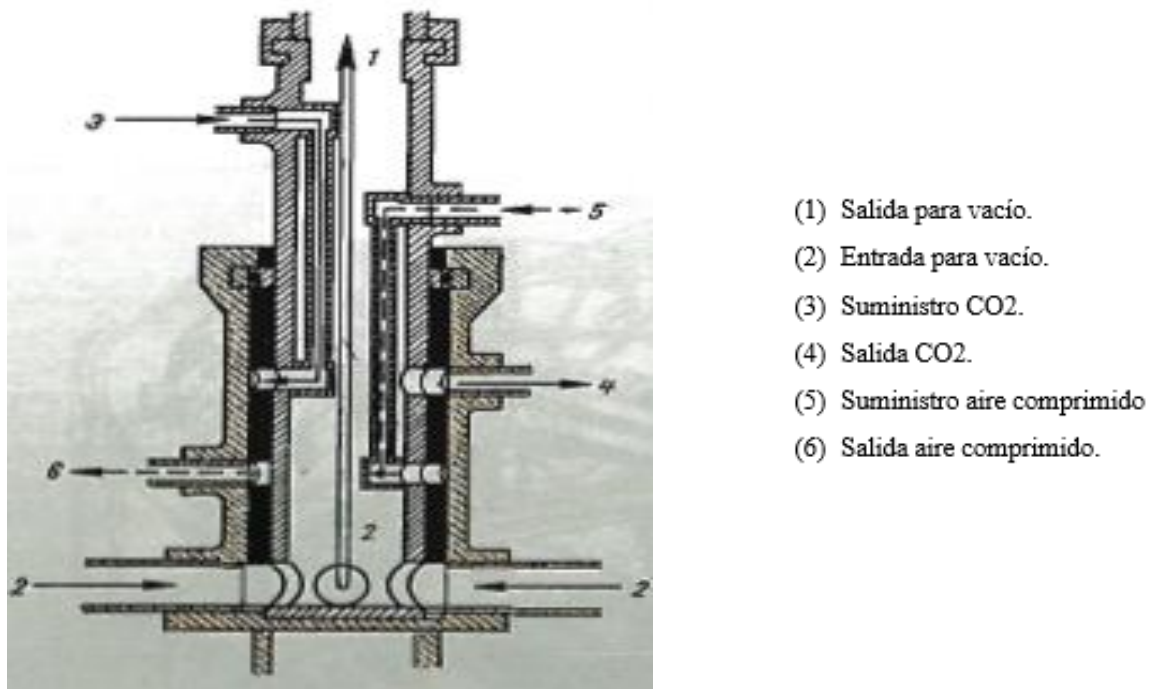


Figura 58. Cabezal llenadora botellas.

8.1.1 Acondicionamiento de las máquinas llenadoras de botellas de vidrio.

El acondicionamiento se realiza a través de un motor trifásico regulado por frecuencia que se distribuye:

- A través de un árbol articulado a la unión de rotación de las bolas del carrusel de llenado.
- A través de otro nivel a la tapadora, estrellas de entrada y salida y acondicionamiento del tornillo sinfín.

Las ruedas dentadas actualmente se fabrican de plástico para que sean silenciosas y resistentes al desgaste.

8.1.2 Suministro de los diferentes productos a la llenadora.

Mientras la llenadora gira a alta velocidad, es necesario que los diferentes productos sean suministrados y evacuados respectivamente, como:

- Suministro de CO_2 .
- Suministro de aire comprimido.
- Suministro de vapor.
- Retorno de CIP.
- Suministro de cerveza.

Para impedir el intercambio de los diferentes productos que llegan a los cabezales de la llenadora se instalan justas especiales de una vida útil prolongada para prevenir el mezclado entre ellos, además se realizan mantenimientos preventivos frecuentes.

8.1.3 Introducción, manipulación y descarga de las botellas de vidrio.

Es necesario disponer de una red de transporte de botellas de forma segura hasta los elementos llenadores, se encargan las cintas transportadoras, al igual que la descarga de las botellas de vidrio. En cambio para el taponado, las botellas son suministradas por la estrella de salida a la estrella taponadora, que giran sincrónicamente.

8.1.4 Operación de los elementos elevadores.

Las botellas una vez se encuentren en las válvulas de llenado deben ser elevadas de forma rápida, segura y hermética y posteriormente descendidas evitando que se pueda escapar CO_2 del interior de la botella. Las botellas se elevan gracias a aire comprimido y descendidas mediante un leva justo después del llenado.

8.1.5 Regulación de altura y adaptación a diferentes formatos de botella.

La regulación de altura en las máquinas de llenado está a la orden del día en la actualidad, debido a la gran cantidad de formatos de botellas con la que cuenta el mercado. Por lo que el cambio debe ser enérgico y en el menor tiempo posible para que el rendimiento de la máquina sea elevado.

En la actualidad se suele cambiar de forma automática mediante el ordenador integrado con el que cuentan las máquinas llenadoras por lo que el cambio se realiza de forma rápida y eficaz.

8.1.6 Funcionamiento de los dispositivos de llenado.

Es la parte más importante del proceso de llenado y todos los parámetros de calidad no deben de variar durante todo el envasado. Para llevar a cabo las exigencias impuestas por las fábricas de cerveza, en la construcción del bloque de la máquina de llenado, se incluyen:

- Tulipa centradora.
- Válvula de llenado con tubo de llenado largo.
- Válvula de llenado con tubo de retorno corto.
- Control de las válvulas.
- Llenado volumétrico

Las válvulas son controladas mecánicamente o por ordenador.

Las etapas de llenado son (Figura 59):

- (1) Se elimina el oxígeno con dióxido de carbono.
- (2) Contrapresión de CO_2 en la botella.
- (3) Se eleva la presión para evitar espuma en el llenado.

- (4) Se introduce la cerveza a través del tubo largo de llenado.
- (5) Se empieza a evacuar el CO_2 para llenarla por completo.
- (6) El tubo de gas de retorno cierra evitando llenar de más.
- (7) Cierre de la válvula de cerveza.
- (8) Desciende la presión en botella lentamente para evitar espumeo.
- (9) Se comprueba que se ha introducido la cantidad establecida en la botella.
- (10) CIP a la botella y se comienza de nuevo.

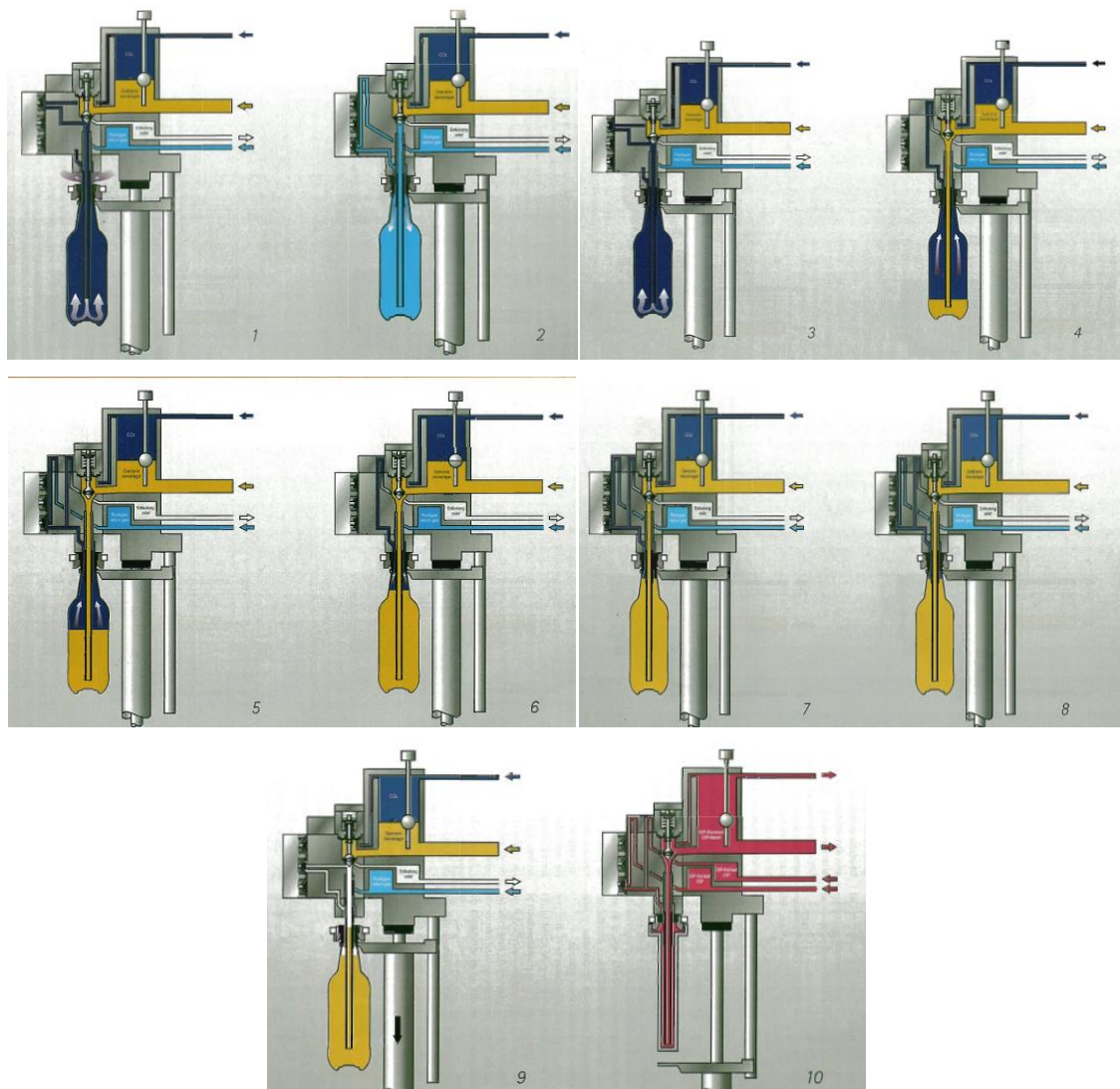


Figura 59. Etapas de llenado de botellas.

8.1.7 Taponado de botellas de vidrio.

Cuanto más sensible a contaminaciones y a la influencia de oxígeno es la bebida envasada, más rápido se debe colocar el tapón en la botella, se utilizan tapones corona, están compuestos por una chapa fina barnizada de espesor 0,235 mm y un error de 0,020 mm con un sellador de compuestos de PVC.

8.1.8 Limpieza de la máquina.

La limpieza de la máquina llenadora es una necesidad higiénica prioritaria, en las plantas cerveceras se realizan limpiezas muy minuciosas en las máquinas llenadoras y tapadoras puesto pueden ser una gran fuente de contaminaciones.

Se tendrán menos problemas si la bebida es pasteurizada puesto se eliminarán las contaminaciones, en cambio si no es pasteurizada las contaminaciones formarán turbidez en el producto y deteriorará el sabor.

Para que el envasado sea biológicamente seguro, se ha de hacer una limpieza, desinfección y esterilización de todas las partes que están en contacto con la cerveza. Para ello todas las partes, como son, las tulipas centradoras, tubos llenadores de gas y producto... son limpiados con un sistema cerrado de CIP.

8.1.9 Control de botellas llenadas y taponadas.

Una vez finalizado el llenado y taponado de las botellas se realiza un control:

- Nivel de llenado correcto.
- Evitando un sub-llenado de la botella y por ello un deterioro de la imagen de la fábrica.
- Evitar reventones de botellas en el túnel pasteurizador.
- Impedir que salgan botellas poco llenas
- Cierres colocados de forma correcta.
- Oxígeno residual en el cuello de la botella.

A través del control permanente se consigue, que las botellas que salen a la venta obtengan:

- Calidad del producto envasado y del envase.
- Gran estabilidad de la cerveza.
- Etiquetas colocadas correctamente, después de la pasteurización.

8.2 Envasado en latas.

El envasado de latas cambia mínimamente con el de botellas, sigue el siguiente proceso:

8.2.1 Latas y cierres.

El aumento del envasado en latas, es debido a las siguientes ventajas:

- Son irrompibles.
- Pesan menos que las botellas de vidrio aun teniendo el mismo volumen.
- Son eliminadas para desecho.
- Se elimina el cajón de botellas pesado.
- Se apilan bien.
- Se enfrían rápidamente.
- Se pueden abrir sin el uso de herramientas.
- No permiten el paso de luz al interior.
- Pueden tener un diseño publicitario muy efectivo.
- No absorben oxígeno.
- Son fáciles de reciclar.

Las latas se fabrican en dos piezas, la lata a partir de chapas de acero o aluminio y la tapa siempre de aluminio. La lata se fabrica por embudo de profundidad, se realiza un cambio de forma de la chapa manteniendo el espesor del material o por embutido y estirado en el que el espesor del material se reduce.

8.2.2 Almacenamiento, despaletizado y desplazamiento de las latas.

Los envases llegan a la zona de envasado en forma de tall-packs, está compuesta por 23 capas, separadas por una fina lámina de cartón o plástico que contiene hasta 360 latas por capa. La descarga se debe realizar con especial precaución, puesto un leve golpe puede dañar las latas y no ser aptas para su llenado.

Por medio del descargador los paquetes (Figura 60) completos de latas son separados por capas y la lámina intercalada de cartón o plástico es eliminada. Se transportan mediante cintas transportadoras, el transporte no debe sufrir grandes cambios de velocidad ya que las latas son muy inestables y pueden volcarse. Las latas son giradas hacia abajo para codificarlas y enjuagarlas y posteriormente volverlas a girar hasta la posición inicial.



Figura 60. Despaletizador de latas.

8.2.3 Enjuague de las latas.

El enjuagado de latas se evita tener que agarrar las latas para su enjuague y que sean dañadas. El desplazamiento está combinado con una elevación, las latas se mueven a gran altura y pueden estar puestas del revés sin problemas, ser enjuagadas y justo después puestas en su posición inicial y ser transferidas a la llenadora de latas.

8.2.4 Inspección de latas vacías.

Como consecuencia del espesor tan reducido de las latas, debido al transporte pueden producirse deformaciones en ellas y no ser aptas para su llenado. Los daños causan pérdidas de producción y deterioro de la imagen de la empresa con los clientes.

Por ello, las latas vacías deben ser controladas antes del llenado:

- Redondez de las latas.
- Deformaciones del borde.
- Cuerpos extraños en el interior.

La inspección de latas vacías se realiza por una inspeccionadora colocada entre el descargador y la enjuagadora, detecta las latas no aptas con una barrera de luz, puede examinar hasta 150.000 latas/hora, un empujador con aire se encarga de expulsar las defectuosas.

8.2.5 Llenado de latas.

El llenado de latas sigue una serie de etapas muy similares a llenado de botellas, este proceso debe tener un retardo en el llenado final para obtener una altura precisa de llenado y cumplir con los estándares de calidad. Por un lado el proceso es eficaz, pero por el otro, provoca un bajo rendimiento de la llenadora.

Para obviar el problema, se han diseñado procesos de llenado en los cuales:

- Se dosifica previamente el volumen de llenado.
- Se permite que el volumen dosificado ingrese rápidamente y en movimiento, mientras una deja de llenar, la siguiente ya ha empezado.

El sistema de llenado consta de (Figura 61):

- (1) Posición inicial de la lata. La lata se eleva al dispositivo de llenado, todas las válvulas se encuentran cerradas en ese punto.
- (2) Barrido con CO_2 . El CO_2 inyectado fluye a través de la lata, como el dispositivo llenador no se encuentra apretándola, puede escapar el aire del interior y dejar el ambiente con CO_2 . En pocos segundos el cabezal de llenado aprieta la lata y la presuriza con dióxido de carbono.
- (3) Contrapresión de CO_2 . Se consigue una contrapresión de CO_2 en el interior de la lata.
- (4) Llenado. Comienza a llenarse la lata y a evacuar CO_2 al exterior, hasta llegar al volumen establecido.
- (5) Fin de llenado. La cámara de CO_2 que queda no es evacuada completamente y queda una pequeña presión residual para evitar formaciones de espuma.
- (6) Fase de CIP. Una vez terminado el proceso completo, entra la limpieza y desinfección en la que todas las válvulas llenadoras se cierran y se abren la de los agentes químicos de limpieza garantizando la limpieza y desinfección de los elementos de la llenadora.

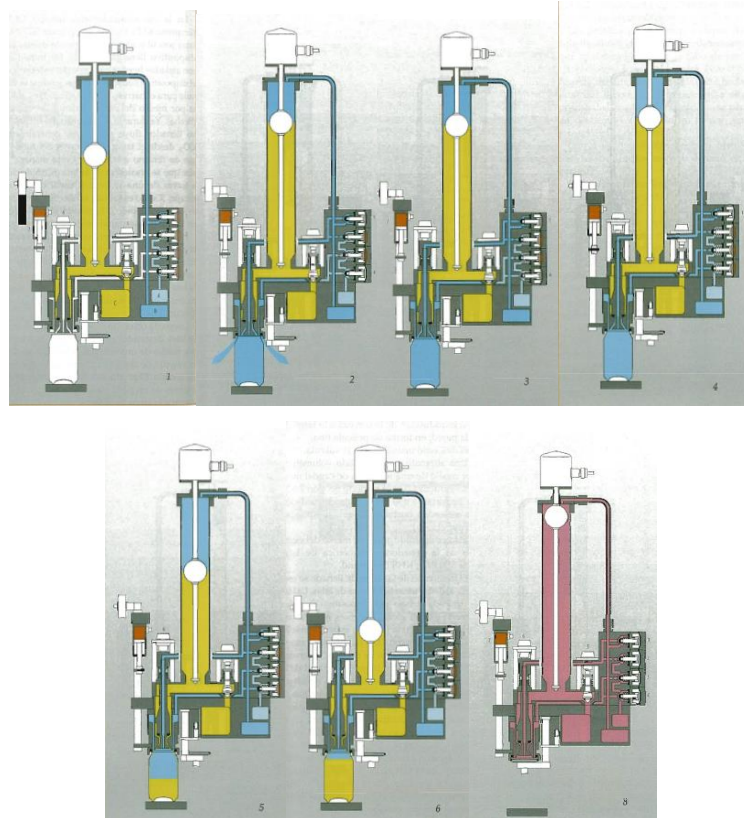


Figura 61. Proceso de llenado de latas.

8.2.6 Cierre de latas.

En el cierre de las latas, la tapa se coloca encima de la lata llena de cerveza, está unida tan firmemente al borde de la lata al engatillarla queda totalmente hermética. La unión se debe realizar sin pliegues o soldaduras en todo el perímetro de la lata para lograr un cierre de forma hermético y duradero entre la lata y la tapa. El proceso de cierre se realiza por medio de dos operaciones consecutivas.

El cabezal de cierre gira con la lata y garantiza que la tapa no se escape de su posición, por otro lado un rodillo gira en sentido contrario y dobla la pestaña hacia abajo en todo el perímetro de la lata dejándola estanca. Luego del cierre, las latas son inspeccionadas.

8.2.7 Inspección de latas llenadas.

Se necesita un control para verificar el llenado y cierre de las latas, se realiza por medio de una inspeccionadora de rayos x y básicamente es apta para su comercialización si:

- Tiene una altura precisa de llenado.
- Cumple con una presión interior dentro del rango estipulado.
- No contiene espuma en el interior y su cierre es totalmente hermético.
- La densidad interior es correcta.

Las latas que no cumplan con los requisitos serán eliminadas de las líneas de envasado por medio de empujadores.

Por último, las latas son etiquetadas con el logo del fabricante y fechadas con el lote y consumo preferente.

8.2.8 Pasteurizado de las latas.

Las latas de cerveza al igual que las botellas deben ser pasteurizadas en los túneles de pasteurización, evitando

así contaminaciones bacterianas.

En la pasteurización de las latas, la temperatura no deberá exceder de 62 °C, porque la resistencia a la presión interna de las latas sólo es de 6 bar y una mayor temperatura conduce, en dependencia del contenido de CO_2 , a una presión más alta que puede causar abolladuras en la tapa.

Se debe de alcanzar valores de 20 UP en la pasteurización de las latas de cerveza, en caso de una alta contaminación bacteriana se podrá llegar en torno a 30 UP.

8.3 Envasado en kegs, barriles.

8.3.1 Limpieza de kegs.

Los barriles o kegs, debido a su transporte en posición vertical está normalizado automatizar la limpieza y el llenado de los barriles.

Las plantas cerveceras siguen las etapas del proceso del siguiente modo:

8.3.1.1 Despaletizador de barriles.

Los kegs o barriles son recepcionados en palets con 3 o 4 capas, son colocados por el robot despaletizador sobre las cintas transportadoras que los transportan al robot de volteo.

8.3.1.2 Volteo del barril hacia abajo.

Es el proceso previo para que el barril entre en las diferentes estaciones de la embarriladora, por lo que el barril debe ser volteado y con el grifo hacia abajo para que coincida con los diferentes cabezales de la embarriladora.

8.3.1.3 Verificación de la presión.

Una vez el keg sea devuelto y vacío en su interior debe de permanecer una presión interna. Como existe una caída de presión de dentro hacia fuera, no puede ingresar nada al barril. Por lo que antes de realizarse la limpieza interna del barril se le debe comprobar la presión interna y verificar que se encuentra en el rango, si no lo está, se plantean una serie de posibles fallos como son; el barril no es hermético, el grifo está defectuoso o personas externas han manipulado el barril.

Si la presión es correcta, se introduce aire comprimido para evacuar la presión residual que tenga el barril y la cerveza restante que quede en el interior.

8.3.1.4 Limpieza externa.

Los kegs son remojados con agua y limpiados con lejía en general, para posteriormente ser aclarados con agua. La principal causa por la que se realiza la limpieza externa de barriles es por el mal aspecto en el que se encuentran los barriles recepcionados por los clientes, y si esos barriles se sacasen llenos con ese aspecto de nuevo se podría dañar la imagen de la marca. La limpieza exterior se ayuda de rociados a presión y cepillos rotativos para eliminar todas las etiquetas que contenga el barril.

8.3.1.5 Limpieza interna.

Es el punto crítico y más importante del proceso de limpieza de los barriles, ya que no se sabe ni cuánto tiempo ni a qué temperaturas van a estar almacenados.

La limpieza y esterilización se lleva a cabo en las diferentes estaciones ubicadas en la máquina de embarrilado justo antes de ser llenados con cerveza.

En la primera estación se comprueba la presión residual interior del barril, se inyecta aire comprimido y se desplaza hacia el exterior la cerveza y CO_2 residual.

En la estación número dos, se inyecta agua para aclarar el interior del barril y justo después se introduce aire

estéril para vaciar los residuos.

En la estación tres, se lleva a cabo la limpieza con sosa cáustica a 80°C y con una conductividad de 80 mS/cm en todo el interior del barril y pasando por todos los componentes.

En la cuarta estación se produce el aclarado de la sosa cáustica con agua y se inyecta aire estéril para eliminar todos los residuos.

En la sexta estación se produce la desinfección de los barriles con ácido a 30-35 °C y en torno a 25 – 30 mS/cm de conductividad.

En la estación número siete se produce el último aclarado con agua y se eliminan todos los residuos del interior del barril con aire estéril para entrar ya en la última estación de limpieza.

La última estación antes de la de llenado, es la octava donde se le introduce vapor estéril al barril en torno a 140 °C para esterilizarlo y eliminar todo lo que quede en el interior dejando una contrapresión parcial. Luego se extraen los residuos del vapor con CO_2 estableciendo la contrapresión final y dejando el keg preparado para su llenado.

8.3.2 Llenado de kegs.

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el llenado de los kegs se produce en la última estación de la máquina de embotellado.

La cerveza es envasada lentamente para evitar formación y acumulación de espuma en el barril, además la contrapresión de CO_2 ayuda a evitar dicha espuma. Por otro lado, es vital intentar que no queden restos de oxígeno en cualquier tubería de llenado para evitar que durante el envasado la cerveza lo absorba y durante su almacenamiento en barril se oxide y obtenga sabores negativos.

La cantidad de oxígeno en el interior del barril no debe superar los 0,100 partes por millón (ppm).

8.3.2.1 Control volumétrico de llenado.

Además, las máquinas de llenado incorporan en esta estación un dispositivo de llenado volumétrico, que avisa cuando el barril queda lleno y corta el suministro de cerveza. Al igual que avisa si el barril no se ha llenado por completo y es apartado de la línea de envasado.

8.3.2.2 Volteo del barril hacia arriba.

Una vez los barriles salen limpios, desinfectados y llenos de cerveza del paso por las distintas estaciones, el cabezal apunta hacia abajo por lo que se precisa de otro robot volteador que coloque el barril hacia arriba con un giro de 180°.

8.3.2.3 Encapsulado.

Una vez finalizado el llenado y con el barril hacia arriba, se le coloca al grifo del barril una cápsula que protege de higiénicamente y de posibles manipulaciones el barril al salir de la fábrica. Además ayuda a colocar la marca de la compañía así como el grado alcohólico, ingredientes y en algunos casos el lote y fecha de consumo preferente.

9. OPERACIÓN BÁSICA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN (CIP).

La cerveza debe conservar todos los parámetros de calidad durante un amplio tiempo para que el producto sea estable en el tiempo. Esto incluye el sabor y el olor de la cerveza, al igual que la espuma y el brillo siempre que no sea una cerveza turbia por naturaleza.

El cumplimiento de todos estos parámetros no sólo se puede lograr con la filtración, sino garantizando un espacio de trabajo limpio. La limpieza y desinfección permanente de los tanques, tuberías y lugares de producción son una necesidad imprescindible para obtener y garantizar la calidad del producto final. En esta operación de limpieza y desinfección se ha de considerar:

- Materiales de tanques y tuberías.
- Agentes de limpieza y desinfección.
- Realización de la limpieza y la desinfección con el sistema Cleaning in Place (CIP).

9.1 Etapas CIP.

Las limpiezas CIP se llevan a cabo de manera automática en las industrias cerveceras mediante los aclarados con agua, y recirculados con disoluciones de productos químicos almacenados en tanques a través de un sistema de bombeo y tuberías conectadas. Con los productos químicos se consigue eliminar la suciedad y microorganismos presentes en la superficie de los equipos que se vayan a utilizar, el ciclo de CIP completo opera siguiendo tres etapas ordenadas: Eliminar la suciedad, desinfección de la superficie y esterilización final.

Las operaciones de CIP, se controlan bajo 4 parámetros:

- Tiempo que dura la operación, para que el agente químico sea efectivo.
- Agente químico utilizado en la limpieza, desinfectado y posterior esterilizado.
- Temperatura de operación, según el equipo a limpiar.
- Frecuencia de los ciclos de limpieza.

Los equipos que forman el sistema CIP son, un depósito de agua recuperada o agua de red en el caso de no recuperar el agua, otro depósito para sosa ambiente, otro para sosa a 80 °C y un último para el ácido.

Todos los depósitos se encuentran conectados mediante una red de tuberías y válvulas a todos los equipos que necesitan ser limpiados para su uso formando un circuito cerrado con cada uno de ellos para recircular la solución durante los tiempos establecidos. Los sistemas CIP están automatizados siguiendo las siguientes etapas:

- La primera etapa consta de un enjuague del equipo con agua recuperada o agua de red a drenaje (Figura 62), en el caso de ser agua recuperada es una mezcla de agua con sosa obtenida del enjuague de la última limpieza.

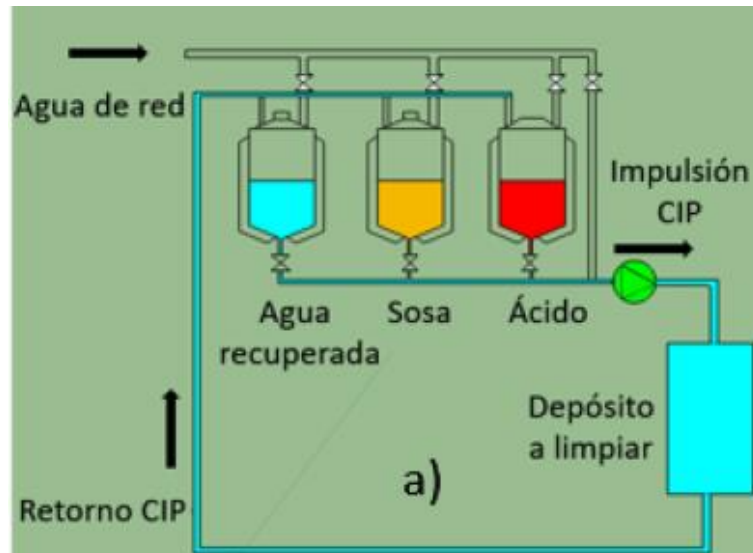


Figura 62. Enjuague CIP.

- Posteriormente se recircula en torno a 40 minutos con una disolución de agua con sosa al 2 % (80 mS/cm) de concentración, en el caso de tanques fermentadores se procede con sosa a temperatura ambiente y en el caso de líneas con sosa a 80 °C (Figura 63). Se utiliza sosa ya que no forma espuma durante la limpieza, ayuda a reducir la corrosión y aumenta la productividad.

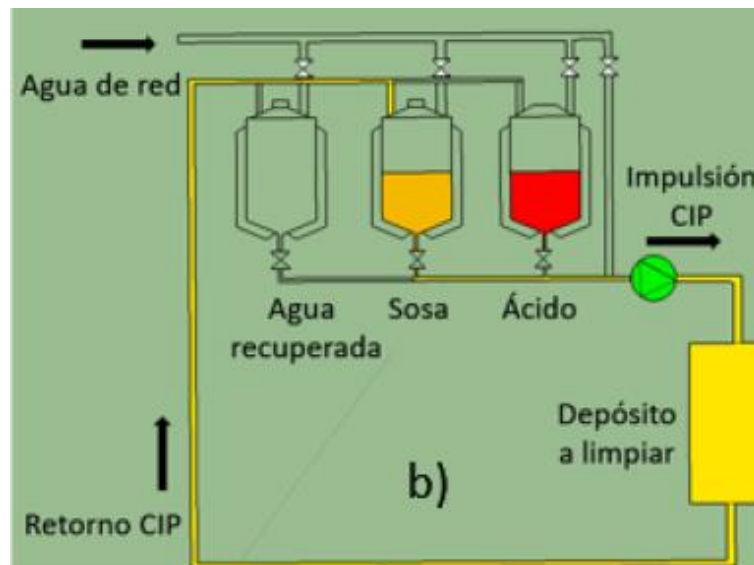


Figura 63. Recirculación sosa CIP.

- En la tercera etapa se empuja la sosa al tanque con agua y se aclara la línea con agua de red, la cuál es recuperada al tanque de agua recuperada (Figura 64). Los cambios de productos en las tuberías durante la limpieza se ven reflejados en los caudalímetros insertados en puntos estratégicos para el máximo aprovechamiento de los productos de limpieza.

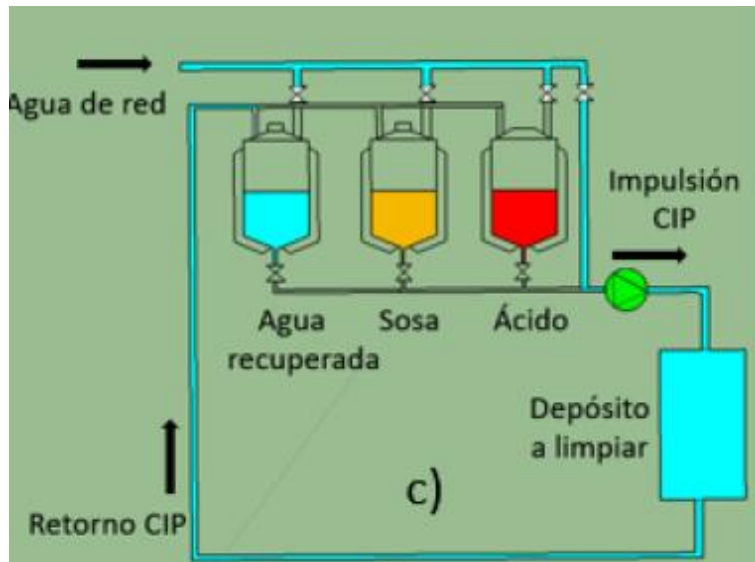


Figura 64. Enjuague CIP a agua recuperada.

- En la cuarta etapa se recircula ácido, normalmente peroxiacético al 2% (20 mS/cm) para llevar a cabo la desinfección de los equipos (Figura 65). El uso de este ácido se debe ya que es un potente desinfectante a temperaturas ambientales, queda poco residuo en los enjuagues, es muy eficaz contra microorganismos, bacterias y patógenos y es más respetuoso que otros ácidos en el medio ambiente.

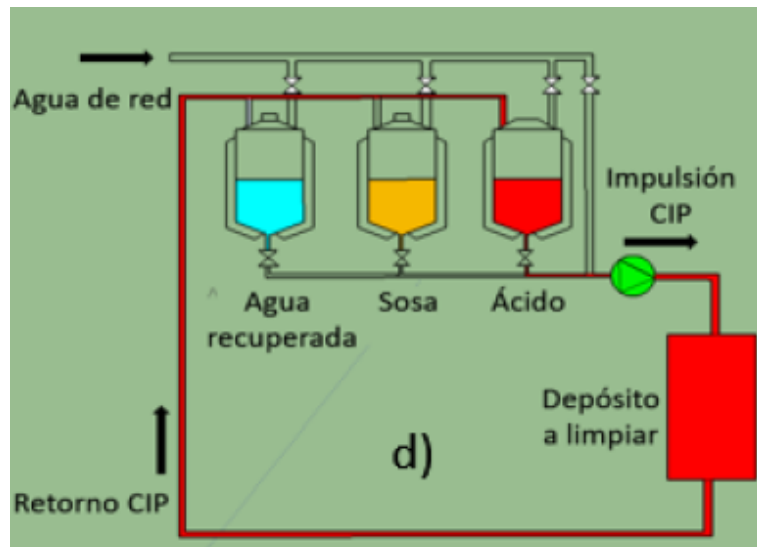


Figura 65. Recirculación ácido CIP.

- Por último, se realiza un aclarado contundente con agua de red a drenaje hasta ver conductividades por debajo de 0,3 mS/cm (Figura 66).

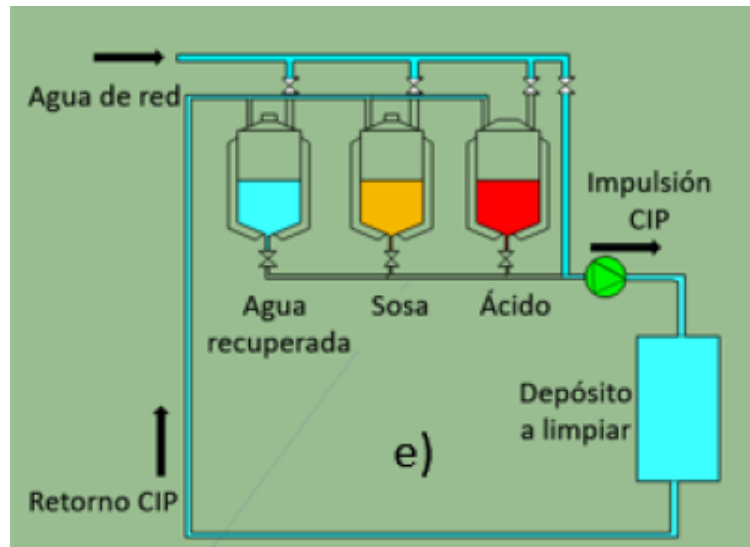


Figura 66. Aclarado con agua de red CIP.

9.2 Ventajas Sistema CIP.

Los sistemas CIP cuentan con una serie de ventajas como:

- Se utilizan soluciones siempre con la misma concentración, para la sosa al 2% (80mS/cm) y para el ácido al 2% (22 mS/cm) de manera automática gracias a las preparaciones por programa.
- La automatización mejora el proceso y la rapidez de las limpiezas.
- Se evita que los operarios manipulen productos químicos peligrosos.
- Se optimiza el consumo energético.
- Se dispone de la trazabilidad de una limpieza, conociendo como se ha llevado a cabo y detectando posibles incidencias o anomalías.

10. BIBLIOGRAFÍA

- (1) La cerveza: Ciencia, tecnología, ingeniería, producción, valoración, Juan Antonio Boto Fidalgo, 2017.
- (2) How to Brew: Everything you need to know to brew great beer every time, John J. Palmer, 2017.
- (3) Tecnología para malteros y cerveceros, Wolfgang Kunze, 2006.
- (4) Water: A comprehensive guide for brewers, John J. Palmer, 2013.
- (5) For the love of hops, Stan Hieronymus, 2012.
- (6) Yeast (Brewing Elements), Chris White, 2010.
- (7) Malt (Brewing Elements), John Mallett, 2014.
- (8) Brewing, Michael J. Lewis, 2002.
- (9) Curso experto en ciencia y tecnología de la elaboración de cerveza. ETSI, US. Consultado en 2022.
- (10) Proceso de fermentación de cerveza - Micet Craft. 2020. Micet Craft. [En línea]. Consultado febrero 2023. Disponible en:
<https://www.micetcraft.com/es/proceso-de-fermentacion-de-cerveza/>
- (11) Filtro de placas cerveza - Google Suche. 2017. Google. [En línea]. Consultado febrero 2023. Disponible en:
https://www.google.com/search?q=filtro+de+placas+cerveza&source=lnms&tbm=isch↦sa=X&sqi=2&ved=2ahUKewjmlr-8yft-AhXHSfEDHf52A_QQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625
- (12) Filtro de cartuchos de membrana - Google Suche. 2018. Google. [En línea]. Consultado febrero 2023. Disponible en:
https://www.google.com/search?q=filtro+de+cartuchos+de+membrana&tbm=isch&ved=2ahUKewjNoKS-yfT-AhXusCcCHatIAjQQ2-cCegQIABAA&oq=filtro+de+cartuchos+de+membrana&gs_lcp=CgNpbWcQAzoFCAAQgAQ6BggAEAgQHjoHCAAQigUQQzoKCAAQigUQsQMQQzoICAAQgAQOsQM6BwgAEBgQgAQ6BAgAEB5QuQlYqztgmz5oAHAAeACAACOFiAHuLZIBDjAuMTkuMS4wLjYuMC4xmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=V7RgZI2ZEU7hnsEPq5GJoAM&bih=625&biw=1366
- (13) Informe socio-económico del sector de la cerveza en España 2020. [En línea]. Consultado en Diciembre 2022. Disponible en:
https://cerveceros.org/uploads/60cc4d782b7af_InformeSocioeconomicoSectorCerveza_2020.pdf