

Proyecto Fin de Grado  
Ingeniería de Tecnologías Industriales  
Intensificación Energética

Análisis Térmico de Procesos Industriales para uso  
de Energía Solar Térmica

Autor: Alejandro Loizaga Barea    Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

**Dep. Ingeniería Energética**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2017





Proyecto Fin de Grado  
Ingeniería de Tecnologías Industriales  
Intensificación Energética

# **Análisis Térmico de Procesos Industriales para uso de Energía Solar Térmica**

Autor:

Alejandro Loizaga Barea

Tutor:

Francisco Javier Pino Lucena

Profesor Contratado Doctor

Dep. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Grado: Análisis Térmico de Procesos Industriales para uso de Energía Solar Térmica

Autor: Alejandro Loizaga Barea

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

*A mi familia*

*A mis maestros*



# Agradecimientos

---

A mis padres, mi hermano, mi hermana y mi familia, por apoyarme durante todos estos años, por su apoyo incondicional y todo su cariño. Todo esto lo he conseguido gracias a ellos.

A mis amigos, que han sabido siempre apoyarme y estar en los buenos y malos momentos, también se lo debo.

A mi tutor, por permitirme realizar este proyecto, aconsejarme y ayudarme en este estudio llevado a cabo.



El objetivo de este estudio es dar una idea de la importancia de la demanda de la energía y sobretodo de la energía térmica en un sector de la industria, en este caso la cervecera.

Se realiza en primer lugar una introducción, con el objetivo de dar una idea de lo importante que es el sector no solo desde el punto de vista energético sino también desde el punto de vista histórico y económico, como ha evolucionado este sector a lo largo de los años y la importancia que tiene hoy en día.

Luego se realiza un estudio y explicación del propio proceso de elaboración paso a paso donde se explica con detalle en que consiste cada etapa del proceso, como se trabaja, las temperaturas de trabajo, los tiempos y todo lo que hay que tener en cuenta y lo que hay que saber de cara al proceso. Luego se hace un estudio de los consumos generales en las fábricas de cerveza tanto eléctrico como térmico y su importancia y distribución en cada proceso.

Finalmente se realiza un pequeño dimensionado de una planta de energía solar térmica a baja temperatura con el uso de la tecnología de captador solar plano aplicada a uno de los procesos más importantes de la fábrica, con la intención de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y optar por una mayor dependencia hacia la energía renovable.



# Abstract

---

The aim of this study is to give an idea of the importance of energy demand and, above all, of thermal energy in an industry sector, in this case the brewery.

An introduction is made first, with the aim of giving an idea of how important the sector is not only from the energetic point of view but also from the historical and economic point of view, as this sector has evolved throughout The years and the importance it has today.

Then there is a study and explanation of the process of elaboration step by step where it is explained in detail in which consists each stage of the process, how it works, the working temperatures, the times and everything that has to be taken into account and what That you have to know before the process. Then a study of the general consumptions in the breweries of both electric and thermal beer and its importance and distribution in each process.

Finally, a small dimensioning of a thermal solar plant at low temperature is carried out with the use of the technology of solar collector applied to one of the most important processes of the factory, with the intention of reducing the dependence of the fossil fuels and Opt for a greater reliance on renewable energy.

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Origen de la cerveza	1
1.1.1. Historia de la cerveza en Europa	4
1.2. Evolución de la industria cervecera dentro del marco industrial	8
1.3. La revolución de las cervecerías artesanales o "Craft Beer"	11
1.4. Cervecerías y microcervecerías en Europa	14
1.5. Producción de cerveza	18
1.6. Materias primas	25
1.7. Tipos de cerveza	27
<b>2. Proceso industrial</b>	<b>30</b>
2.1. El proceso de elaboración	30
2.1.1. Esquema del proceso	30
2.1.2. La molienda	32
2.1.3. La maceración	34
2.1.3.1. Tipos de maceración	34
2.1.3.2. La química de la maceración	36
2.1.4. La filtración del mosto	47
2.1.5. La cocción del mosto	50
2.1.5.1. Tipos de cocción	51
2.1.6. La separación de precipitados	55
2.1.7. El enfriamiento del mosto	55
2.1.8. La aireación del mosto y la inoculación de la levadura	56
2.1.9. La fermentación	56
2.1.9.1. Transformaciones durante la fermentación	58
2.1.10. La maduración	63
2.1.11. La filtración y la carbonatación de la cerveza	64
2.1.12. El llenado, la pausterización y el envasado	64
2.2. Visión general del uso de la energía	66
<b>3. Inclusión de la energía solar térmica en el proceso</b>	<b>72</b>
3.1. Introducción	72
3.2. Aplicación al proceso de envasado	72
3.2.1. El envasado	72
3.2.2. Introducción	73
3.2.2.1. Captador solar plano	73
3.2.3. Dimensionamiento	73
3.2.3.1. Datos de partida	73
3.2.3.2. Método f-Chart	75
3.2.3.3. Correcciones	75
3.2.3.4. Porcentaje de demanda cubierta	77
<b>4. Conclusiones</b>	<b>80</b>
<b>Referencias</b>	<b>82</b>
<b>Glosario</b>	<b>84</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1-1 Producción de cerveza (miles hL) de los diferentes países.	18
Tabla 2-1 Diagrama del proceso de elaboración de la cerveza.	31
Tabla 2-2 Puntos de referencia para las cervecerías europeas.	70
Tabla 2-3 Consumo de energía en la cervecería según se publica en el documento de referencia de mejores técnicas disponibles.	70
Tabla 2-4 Distribución de temperaturas de los diferentes procesos de elaboración de la cerveza, en grados celsius.	71
Tabla 3-1 Datos de partida.	73
Tabla 3-2 Porcentaje de demanda cubierta en función del número de paneles en paralelo en el caso de una cervecería.	78
Tabla 3-3 Porcentaje de demanda cubierta en función del número de paneles en paralelo en el caso de una microcervecería.	79
Tabla 4-1 Puntos de referencia para las cervecerías europeas.	81

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1-1 El químico francés Louis Pasteur realizando experimentos en su laboratorio.	7
Figura 1-2 Producción de cerveza por las principales cervecerías en España en 2013(miles de hl).	10
Figura 1-3 Producción de cerveza artesana frente a la cerveza fabricada por las grandes industrias en EEUU de 2007 a 2012.	12
Figura 1-4 Número de fábricas de cerveza en EEUU desde el año 1887 hasta el año 2013.	12
Figura 1-5 Distribución del número de cervecerías en Europa.	14
Figura 1-6 Número de cervecerías según el año.	15
Figura 1-7 Distribución del número de microcervecerías en Europa.	16
Figura 1-8 Número de microcervecerías según el año.	17
Figura 1-9 Distintos tipos de cerveza en el mundo: sus nombres y características.	28
Figura 2-1 Esquema de una planta de elaboración de cerveza.	31
Figura 2-2 Detalle de diferentes tipos de rodillos.	33
Figura 2-3 Diagrama de temperatura-tiempo en las maceraciones por infusión y por decocción.	35
Figura 2-4 Efectos de la temperatura en la maceración.	36
Figura 2-5 Efecto de la temperatura en la velocidad de la reacción.	38
Figura 2-6 Degradación del almidón durante la maceración.	41
Figura 2-7 Temperaturas óptimas de las enzimas, porcentaje de azúcares fermentables y porcentaje de dextrinas en 1h de macerado.	43
Figura 2-8 Tabla de valores óptimos de pH y temperatura de las diferentes enzimas en el proceso de maceración.	45
Figura 2-9 Gráfico de maceración.	46
Figura 2-10 Mirilla de visión en el tanque de filtrado.	49
Figura 2-11 Diagrama de temperatura-tiempo para el sistema de cocción atmosférica.	51
Figura 2-12 Diagrama temperatura-tiempo para el sistema de cocción a baja presión.	52
Figura 2-13 Recuperación de calor de los vahos de cocción.	53
Figura 2-14 Comparación entre cocción atmosférica y a baja presión.	54
Figura 2-15 Diagrama de distribución de la temperatura en función del tiempo durante el proceso de fermentación.	58
Figura 2-16 Túnel de pasteurización con recirculación de agua.	66
Figura 2-17 Balance de masa aplicado a las cervecerías Unicer SA, representados en valores por m <sup>3</sup> de cerveza producida.	67
Figura 2-18 Demanda eléctrica de una cervecería (%).	68
Figura 2-19 Demanda de calor y frío (térmica) en una cervecería (%).	68
Figura 2-20 Porcentajes de energía aportados en diversos procesos en la cervecería para el año 2012	69

# Notación

---

A.M.	Antes del mediodía
At	Área total de captación
ATP	Adenosine triphosphate (adenosín trifosfato)
b0	Factor adimensional, tomado como 0,1
bb1	Barril
cp	Capacidad calorífica específica
CHP	Cogeneration/combined heat and power (combinación de calor y electricidad)
Cos	Función coseno
C <sub>pp</sub>	Producto de la capacidad calorífica por el gasto del fluido primario
C <sub>min</sub>	Producto de la capacidad calorífica por el gasto del fluido secundario
D	Valor de la radiación directa en tanto por uno
d	Valor de la radiación difusa en tanto por uno
F	Porcentaje de demanda cubierta
FAOSTAT	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Fr*UL	Factor lineal de pérdidas
Fr( $\tau\alpha$ ) <sub>n</sub>	Producto del factor de evacuación del calor por el producto medio mensual del captador
G	Gasto específico
H	Radiación global media mensual en base diaria sobre la superficie horizontal
hL	Hectolitro
J	Julios
K	Factor implicado en la corrección por agrupación
Kg	Kilogramo
KJ	Kilojulios
KWh	Kilovatio-hora
K <sub><math>\tau\alpha</math></sub>	Factor de corrección aplicado a la radiación
L	Demanda térmica de energía del proceso al mes
l	Litro
m	metro
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
MJ	Megajulios
M <sub>p</sub>	Gasto fluido principal
MTD	Mejor Técnica Disponible, es un concepto productivo definido en la legislación medioambiental europea por la Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPPC)
MWh	Megavatio-hora
N	Número de días del mes
n/a	Not available/no answer

pH	Medida de acidez o alcalinidad de una disolución (potencial Hidrógeno)
ppm	Partes por millón
T <sub>ac</sub>	Temperatura de preparación del agua caliente
T <sub>af</sub>	Temperatura del agua fría
T <sub>am</sub>	Temperatura ambiente media exterior
W	Vatio
X	Factor de pérdidas
Y	Factor de ganancias
~	Aproximado
ε	Efectividad intercambiador
Δt	Segundos del mes
°K	Grados kelvin
°F	Grados fahrenheit
°C	Grados celsius

# 1. INTRODUCCIÓN

---

La energía constituye un sector clave tanto por su gran peso en la industria como sobre todo, por su gran valor estratégico, al ser la energía un elemento imprescindible de cualquier industria o servicio. Como en este proyecto nos centraremos en el análisis de la demanda de la energía térmica en la industria cervecera, primero, hablaremos sobre la importancia de este sector y su evolución a lo largo de la historia y la importancia que tiene este sector hoy en día. Luego hablaremos sobre el proceso de elaboración de la cerveza donde veremos cada uno de los procesos involucrados, seguido de un estudio de los diferentes consumos (térmicos y eléctricos) del proceso y sus temperaturas. Y finalmente haremos un pequeño dimensionado de una planta de energía solar térmica a baja temperatura con el uso de captadores solares planos aplicada al proceso de envasado, con la intención de reducir la dependencia por los combustibles y optar por una mayor dependencia por las energías renovables.

## 1.1. Origen de la cerveza

La cerveza es una bebida alcohólica espumosa preparada con granos de cebada u otros cereales fermentados en agua y aromatizados con lúpulo. Su nombre proviene del latín “cervēsia”, palabra del galo (idioma celta), según el filólogo y etimólogo Joan Corominas. También es dicho que proviene de “cerevisia”, palabra que se descompone en Ceres, diosa latina de la tierra y los cereales y “vis”, que significa fuerza. Etimología, de Phillippe Duboe-Laurence y Christian Berger (autores del libro El libro del amante de la cerveza), que no está muy aprobada por los filólogos y etimólogos. De cualquier modo sí que es cierto que “cereales” proviene de cerealis, y viene representando a la diosa Ceres, la cual está simbolizada con espigas de trigo en la mano. El origen de la cerveza se remonta en la historia de la humanidad. Su origen se remonta a la Edad de Piedra, y está ligado a la aparición

de grupos sociales sedentarios, al inicio del cultivo del cereal y a la elaboración de pan. Al parecer, la primera bebida fermentada que conoció el hombre fue la cerveza, y se cree que apareció junto con el pan de cebada. Es posible que alguien hubiese dejado el pan olvidado a la intemperie; la humedad y la flora bacteriana provocaron una fermentación natural. Al recogerlo, observo que el pan había segregado un líquido que le supo tan bien, que sucesivamente trató de reproducir el proceso. Es sabido que hace más de 6.000 años, en la tierra de los ríos Tigris y Eufrates, los sumerios (habitantes del sur de Mesopotámica) elaboraban y consumían cerveza. Un grabado de esa época representa a unos bebedores de cerveza junto a los cuales se reprodujeron algunas canciones dedicadas a la diosa de la cerveza, Ninkasi. Además, los sumerios conocieron varios tipos de cerveza, entre ellos una variedad conocida como superior. Los babilonios heredaron de los sumerios el arte del cultivo de la tierra y la elaboración de la cerveza. El rey Hammurabi dispuso en un decreto normas sobre la fabricación de la cerveza, en el cual también se establecían severos castigos a quienes adulteraran la bebida. La elaboración tenía carácter religioso y era realizada solo por las sacerdotisas. Los babilonios preparaban la cerveza a partir de los panecillos de harina de cebada y la llamaban pan líquido.

La leyenda que Osiris preparó la primera cerveza pertenece a la historia primitiva de Egipto y, según esta versión, la cerveza sería un invento de los dioses. Los griegos identificaron a la cerveza con los egipcios, ya que la palabra *zythum*, empleada para designar a los egipcios, también la emplearon para significar "vino de cebada". Es de anotar que los fabricantes egipcios de cerveza eran exceptuados del servicio militar, y tanto los soldados como las autoridades recibían cerveza como parte de su paga. También existen pruebas de que los chinos producían una clase de cerveza de trigo llamada *kiu*, hace más de 4.000 años. La cerveza se encuentra entre las ofrendas hechas a los dioses en casi todas las culturas. En los países nórdicos se ofrecía cerveza a Wotan, el gigante Oegir era el cervecero y Thor el dios del trueno, el protector de la cerveza. La cerveza pasó de Egipto a Europa a raíz de las cruzadas. Los caballeros de regreso a sus países la llevaban consigo. En la historia medieval y moderna aparece la tradición alemana, que es muy antigua. A raíz de fuertes heladas consecutivas que afectaron los cultivos de la vid, en Europa tomó fuerza la cerveza como reemplazo del vino. Por esa época, los habitantes del norte de Europa utilizaban hierbas aromáticas y plantas silvestres para modificar el sabor y aroma. Se cuenta que Santa Hildegarda, abadesa de Ruperstberg, fue quien primero adicionó lúpulo a la cerveza. A raíz de ello, la cerveza se convirtió en importante objeto de comercio. En el siglo XII, el rey Juan Primus (Juan I de

Flandes de la Casa de Constantinopla), conocido como Gambrinus fue un protector de los cultivos de cebada y, por ende, de la cerveza. En la Edad Media, los alemanes poseían cerca de 500 claustros en los cuales se elaboraba y comercializaba la cerveza, ya que era privilegio exclusivo de los monjes y monjas, siendo muy famosas, en ello, las monjas de los Prados de Santa Clara. La primera organización gremial de fabricantes de cerveza nació en París en 1258 y 10 años mas tarde, el reglamento para producir la bebida se inscribía en el libro de los oficios. Alemania ha influido mucho en fijar las características de la cerveza moderna, al punto que hoy en día aun cuentan con la "Ley de la Pureza" promulgada por el duque bavaro Guillermo IV de Orange en 1516, que obliga a producir la bebida con cebada malteada, agua, lúpulo y levadura. En Inglaterra, la cerveza era tan importante que su Carta Magna daba la medida adecuada para la venta y consumo. Además, uno de los oficios más antiguos de ese país es el de "Conner" o degustador de cerveza. La primera cervecería del continente americano fue construida en 1544 por don Alfonso de Herrera, cerca de Ciudad de México. Los peregrinos ingleses fueron los que llevaron la cerveza a los Estados Unidos; una de las primeras cervecerías establecidas en Estados Unidos data de 1612 y perteneció a Adrian Brock y Hans Cristiansen. En el siglo XIX llegaron a registrarse más de mil novecientos establecimientos en todo el país. La cerveza lleo a Canadá con los franceses, en 1668. Jean Talon, superintendente de la provincia de Québec, fue autorizado por la corona francesa para construir la primera cervecería. La fabrica mas antigua de América, aun en funcionamiento, es la fundada por Jhon Molson en Montreal y data de 1786. Si concebimos la "chicha" como una forma de cerveza, los sudamericanos la descubrieron hace cerca de 2.000 años. En Colombia, los hermanos Cuervo fundaron en Bogota, en 1884, la primera cervecería, la cual tuvo muy corta vida. En 1889, Leo S Kopp, ciudadano alemán, fundo en el Socorro (Santander) la fabrica conocida como Bavaria, que posteriormente, en 1891, fue trasladada a Bogota. A principios de siglo, se fundaron varias cervecerías entre las que destacamos: Ancla en Honda, Nevada en Santa Marta, Clausen en Bucaramanga, Germania en Bogota, Poker en Manizales, todas ellas hoy desaparecidas, algunas por haber sido absorbidas por Bavaria. Actualmente en Colombia se tienen seis plantas cerveceras, todas ellas de Bavaria, del grupo SAB Miller. Ya en los albores del siglo XXI, el país se inicia en la cultura de las microcervecerías.

### **1.1.1. Historia de la cerveza en Europa**

La Europa bárbara de la Edad de Bronce también comienza a elaborar cerveza. La primera fuente histórica de la cerveza en Europa se sitúa en el noroeste de la península Ibérica y un poco más tarde en el norte de Europa, en el espacio geográfico que actualmente ocupa Dinamarca. Lo que indica que la cerveza era una bebida elaborada y consumida en toda Europa, a excepción de la civilización griega, consumidora de vino. Las primeras referencias que se tienen de la cerveza hecha en la península Ibérica provienen de Plinio en el siglo I d.C., quien cita dos tipos de cerveza diferentes. El primero lo constituían las cervezas verdes, o sidras de cebada, término con el que describían los romanos los zumos fermentados (y del cual proviene la palabra sidra), y que se consumían durante el proceso de fermentación. El otro tipo correspondería a cervezas de guarda, que se podrían almacenar durante largo tiempo. Se tiene constancia de que existe este tipo de cerveza desde la época numantina. No se conoce la composición exacta de estas cervezas hispánicas antiguas, y si estas estaban especiadas, pero es posible que las de guarda estuvieran aromatizadas con hierbas que permitieran una mejor conservación de la cerveza durante largo tiempo. Se ha constatado que los restos de la cerveza más antigua de Europa data del año 2200 a.C. (valle de Ambrona, Soria). Aunque los restos arqueológicos mejor estudiados hasta el momento son los del asentamiento preiberico de Geno, en Lleida, estos indican que los habitantes de este poblado del 1100 a.C., consumían cerveza y que conocían la forma de elaborarla. La cerveza elaborada por entonces en Geno era más o menos ácida, dependiendo de las técnicas que utilizaran y de la estación del año en que elaboraran cerveza. Esta se debía elaborar para celebraciones y tenía que ser consumida mientras estaba fermentando, ya que no podía ser guardada por largo tiempo sin la adición de otros ingredientes que permitieran preservarla de la contaminación bacteriana.

La historia de Europa es la de las guerras entre países. La cerveza también ha estado ligada a la cultura de la guerra, aunque sin tener relación alguna con sus causas. Los cerveceros eran personajes tan importantes que en la civilización babilónica quedaban exentos de luchar y solo acompañaban a los ejércitos durante las batallas para mantenerlos bien provistos de pan y de bebida. El pan evitaba el hambre del guerrero y la cerveza o el vino le proporcionaba el coraje y valor necesarios para la lucha. Sería interesante saber si algunas de las famosas batallas que se ganaron fueron debido a una ingesta adecuada de cerveza, de forma que los guerreros, sin estar demasiado borrachos para no ser torpes, aprovecharan los efectos del alcohol para perder el miedo a la muerte. Así la cerveza, como bebida

ceremonial, paso a tener también a un componente espiritual en el guerrero y quedo ligada a la cultura de la guerra. En el 400 a.C. la cultura de la cerveza ocupaba un lugar de excepción en toda Europa y el cuerno de beber circulaba por la península Ibérica al mar Báltico o Adriático. Tan solo subsistían dos enclaves donde el vino seguía imponiéndose, la Grecia clásica y el sur de la actual Italia. Entre las belicosas tribus del norte, la cerveza era bebida de guerreros, brebaje de héroes, y trofeo de batalla. Mucho más tarde le toco a la Europa cristiana descubrir con espanto las crueles artes de los vikingos, poseídos de una insaciable sed de depredación y de cerveza. Tras haber retrocedido frente al avance del vino cristiano de Roma y Grecia, la cerveza volvió a bajar al mundo mediterráneo a bordo de los barcos vikingos, ya que estos embarcaban en sus naves suficientes cantidades de malta y toneles de agua como para fabricar cerveza a bordo. Así podían ofrendar a Ran o a Aegir la bebida que los mantenía a salvo de los naufragios y los vientos adversos, y disponían al mismo tiempo de una medicina que les evitaba padecer el escorbuto. Hacia finales del año 1000 la expansión vikinga hacia el sur de Europa se detiene y los terribles saqueadores vikingos se establecen en las regiones conquistadas. En este momento en Europa se dibuja nítidamente la separación, hoy conocida, entre una Europa del vino y otra de la cerveza. La progresiva cristianización de Escandinavia, aunque permite a la cerveza mantener su preeminencia en la Europa del Norte, provoca la transformación de “la cerveza del guerrero” en bebida de uso domestico. Esta transformación será profunda y definitiva. La dominación romana y la posterior cristianización del imperio trajeron consigo la regresión del consumo de la cerveza hacia el norte de Europa y la imposición del consumo del vino en el Mediterráneo. La cerveza quedo relegada en el Mediterráneo a ser una simple bebida popular y su elaboración restringida a la cocina de las casas. Aun así los pueblos bárbaros se resistieron a la cultura romana y a la importación del vino. La caída del imperio propicio una ola de invasión cultural pagana que el cristianismo se encargo de combatir. Esta lucha contra las costumbres paganas relego la cerveza a la cocina sin poder trascender el marco familiar. El nuevo orden cristiano favoreció el nacimiento de la vida urbana, el mercado regional y las actividades gremiales. Es en este momento cuando el hombre sustituye a la mujer en la elaboración de la cerveza artesanal.

Durante la Edad Media la elaboración artesanal se va masculinizando en los pequeños comercios, pero es en los monasterios donde nace la autentica industria cervecera. En aquella época los monjes eran los únicos capaces de copiar manuscritos antiguos, ya que aun no se había inventado la imprenta. Por lo tanto únicamente ellos podrían aprender las técnicas cerveceras e intercambiar

información con los miembros de otras abadías. Además la actividad monacal permitía disponer del tiempo necesario para llevar a cabo investigaciones. El poder económico de los monasterios, en aquel momento en plena expansión, permitía al monje cervecero mejorar así la calidad de la cerveza, ya que no tenía que preocuparse por el coste de fabricación, que era asumido por la poderosa Iglesia Católica. Los monjes y las abadías comenzaron a interesarse por la capacidad que tenía la cerveza de atraer a los peregrinos, teniendo en cuenta que tener mas peregrinos significaba mas fama y mas poder económico e influencia en la orden. La cerveza tenía en aquel tiempo un carácter netamente de bebida alimenticia y vigorizante, por lo que resultaba ideal para el reposo de los fieles. La calidad y sabor de la cerveza que elaboraban garantizaban el prestigio de la abadía. Esta fama ayudaba a desarrollar la fe entre la población. A partir del siglo IX se conoce la existencia de cervecerías dentro de los monasterios, donde producían por entonces tres cervezas diferentes: la prima melior, destinada a los sacerdotes y los huéspedes ilustres del monasterio; la seconda, un poco mas suave, reservada a los peregrinos que iban a orar al monasterio; y la última, que se servía a los peregrinos que pasaban por el camino. Hasta el siglo XI la Iglesia dominaba casi todo el comercio de cerveza en Europa. Pero no es hasta la aparición de la cerveza con gruit cuando se comienza a cobrar por la bebida. Al mejorar el sabor de la cerveza también aumento su consumo entre la población que vivía en los alrededores del monasterio. El consumo de cerveza en los monasterios era tan elevado que se tuvieron que celebrar dos concilios para recordar a los monjes que no descuidaran el cumplimiento de sus deberes: el concilio de Aquisgran (en 817) reglamentaba el uso de la cerveza y el de Worms (1255) limitaba el consumo de cerveza a los días de fiesta. El lúpulo empieza a cultivarse en el siglo VIII, en los alrededores del monasterio de Freising (Alemania). Si bien llegó a este país desde los Países Bajos (Brabante, Flandes), donde la fabricación de la cerveza con lúpulo se practicaba ya anteriormente. La primera constancia documental del empleo del lúpulo en la elaboración de cerveza elaborada con lúpulo hay que buscarlo probablemente entre los mongoles. La epopeya finlandesa Kabala, cuyo origen es anterior a la emigración desde Asia a Europa, habla de lúpulo al describir detalladamente la preparación de la cerveza. La introducción del lúpulo en la elaboración de la cerveza no se generaliza en toda Europa hasta los siglos XIII y XIV. Se cree que inicialmente se usaba en los monasterios para amargar el sabor y moderar el consumo por parte de los habitantes de los alrededores. Pero la experiencia mostró a los monjes las propiedades inmejorables del lúpulo para conservar la cerveza durante mucho más tiempo. Además la introducción del lúpulo como aromatizante

aumento paulatinamente el consumo, junto con los excesos que acompañan a la ingesta desmesurada de alcohol. Algunos estamentos de la Iglesia se alzaron contra los supuestos maleficios de esta planta de la cerveza, vaticinando graves daños para la salud de quienes eligiese beber bière (que era el nombre popular de la cerveza aromatizada con lúpulo) en vez de la tradicional cerveoise. Por estas fechas el éxito de la cerveza de las abadías atrajo el interés de los señores feudales ante la posibilidad de la recaudación de impuestos sobre la actividad de elaborar cerveza. A partir del siglo X se permite la actividad de cerveceros laicos, y el señor feudal comienza a tomar las riendas de este fenómeno comercial. Los fabricantes laicos, sujetos a impuesto por elaborar sus cervezas, comienzan a quejarse de la competencia ilegal de las abadías cerveceras, lo que provocó la pérdida de privilegios y la eliminación de las fábricas de los monasterios. Del siglo XII en adelante los cerveceros de oficio organizados en gremios sustituyen definitivamente a los monjes y la enorme competencia obliga a mejorar de modo considerable las cervezas de origen laico. Los impuestos que los gobernantes cargan sobre la producción castigan duramente a los monasterios, que ya no pueden continuar produciendo gratuitamente. Con la aparición de la realeza, comienza el reinado de las corporaciones cerveceras.



Figura 1-1 El químico francés Louis Pasteur realizando experimentos en su laboratorio. Fuente: <http://www.chemistryexplained.com>

## **1.2. Evolución de la industria cervecera dentro del marco industrial**

La industria de la cerveza es un importante negocio global, con ingresos anuales de 294.500 millones de dólares. Muchos países consumen grandes cantidades de alcohol cada año, y entre estos la cerveza es la bebida alcohólica más consumida en el mundo. También es la tercera más popular de todas las bebidas, justo después del agua y el té. La industria global incluye la elaboración de cerveza, el transporte, la distribución, la publicidad y el consumo de cerveza por parte de los consumidores. La elaboración de la cerveza es la parte más importante de la industria, ya que este paso es cuando el producto se produce realmente. La industria de hacer y crear cerveza es crucial para las economías de muchos países alrededor del mundo.

Actualmente, las grandes fábricas son las que controlan casi todo el mercado de la fabricación y distribución de la cerveza, tanto a nivel mundial como a nivel nacional. Las características principales de estas industrias cerveceras son las siguientes:

- La elevada cantidad de hectolitros que elaboran anualmente.
- El estilo de cerveza más elaborado es el de baja fermentación (lager).
- Para su fabricación se utilizan además de la malta de cebada, otros cereales como el arroz y el maíz para abaratar en gran medida los costes de producción.
- Se utilizan estabilizantes y conservantes alargando así la vida útil del producto.
- La cerveza es filtrada y pasteurizada antes de su distribución, con las ventajas e inconvenientes que ello conlleva sobre el producto final.
- Automatización en todas las fases del proceso.
- Campañas publicitarias con presencia en todos los medios y patrocinios a eventos lúdicos, deportivos, etc.

El resto del mercado es compartido por un elevado número de pequeñas fábricas de cerveza, también denominadas micro-cervecerías o craft breweries. Las principales características de estas empresas son las siguientes:

- Cada fábrica elabora diferentes estilos de cerveza, además de realizar estilos estacionales o incluso colaboraciones con otras micro-fábricas.
- Se utilizan todo tipo de ingredientes con la intención de aportar sabores y matices

totalmente diferentes.

- Las técnicas de elaboración varían de un estilo a otro en función de las características que se le quiera otorgar al producto final.

- No se utilizan aditivos químicos.

- Algunas micro-fábricas filtran sus cervezas para aumentar su claridad y estabilidad, pero muy pocas o ninguna pasteuriza ya que esto eliminaría gran parte de los aromas obtenidos durante el proceso.

- Algunas partes del proceso requieren de la mano del hombre puesto que la automatización de algunos procesos sería prácticamente imposible debido a la versatilidad de las diferentes recetas.

- El presupuesto destinado a publicidad y promoción es muy reducido, aunque las nuevas tecnologías y las redes sociales se han convertido en un elemento clave.

En el siguiente gráfico, se puede observar la cantidad de hectólitros de cerveza producidos en España el año 2013, por las diferentes marcas y por las micro-cervecerías nacionales (figuran como otros en el gráfico):

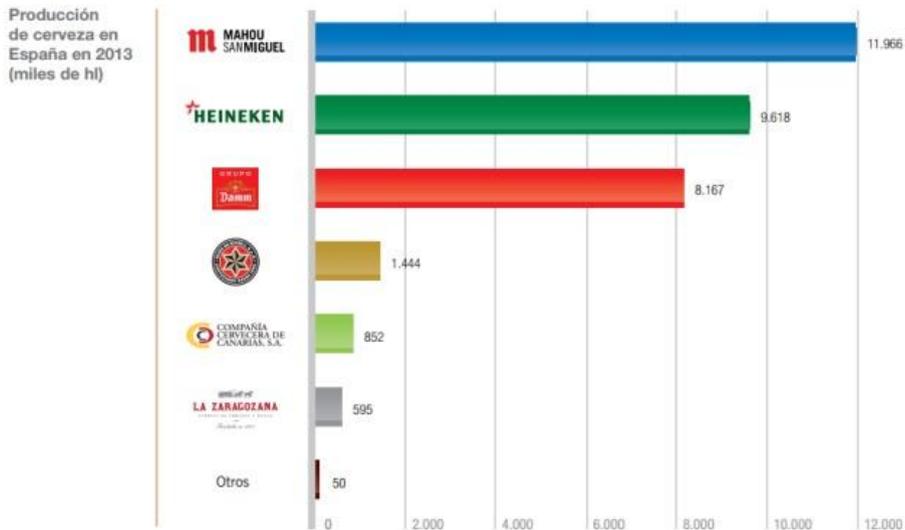


Figura 1-2 Producción de cerveza por las principales cerveceras en España en 2013 (miles de hl). Fuente: [www.cervceros.org](http://www.cervceros.org)

Se observa que se fabricaron un total de 32,7 millones de hectolitros de cerveza en 2013. De los cuáles el 98,5% corresponde a las grandes industrias cerveceras españolas, mientras que solamente el 1,5% corresponde al total de las craft breweries que elaboran cervezas artesanas. Como se puede observar, las diferencias entre estos dos tipos de industrias cerveceras son muy pronunciadas. Éstas se encuentran también en sus productos, mercado, costes de producción, distribución... Siendo prácticamente dos sectores totalmente distintos pese a que ambos elaboran el mismo producto: cerveza. El mercado de cerveza artesana aumenta año tras año en España, aunque sea de forma lenta. En los últimos 5 años el número de micro-cervecerías ha pasado de ser aproximadamente 10 a más de 200 en la actualidad. El número de negocios de restauración ligados a este producto también ha crecido de forma muy elevada, así como de minoristas y distribuidores que se dedican a su exclusiva comercialización. En los próximos años se continuará experimentando un aumento de este sector según las previsiones de mercado.

En concreto, respecto a 2013, las **ventas de la bebida fermentada registraron**

**un aumento** del 2,3%, el consumo subió un 3% y la producción un 2,8%, según los últimos datos del Informe Socioeconómico de la Cerveza de 2014 de la Asociación de Cerveceros de España. En total, las compañías de nuestro país elaboraron más de 33,6 millones de hectolitros en 2014, por encima de países tradicionalmente cerveceros como la República Checa o Bélgica.

El éxito de las cerveceras españolas se pone de manifiesto tanto en el territorio nacional, como en el exterior. Tanto es así, que en España el **90% de la cerveza que se consume es de producción nacional**. A nivel internacional, las exportaciones de cerveza *made in Spain* continuaron creciendo en 2014 por quinto año consecutivo, con un aumento del 28% respecto al ejercicio anterior.

En total, en 2014 se comercializaron fuera de nuestras fronteras 1,7 millones de hectolitros. Sin duda, el buen comportamiento del turismo extranjero en España contribuye a la buena publicidad de las marcas nacionales fuera de nuestras fronteras.

### **1.3. La Revolución de las cervecerías artesanales o "Craft Beer"**

Si se analiza el fenómeno de las craft breweries a lo largo del mundo, se observa que en algunos países con una extensa tradición y cultura por la cerveza, todavía a día de hoy, se encuentran activas pequeñas fábricas desde hace más de 200 años. En República Checa, Alemania, el norte de Francia, Bélgica, Holanda y Reino Unido existen algunas de ellas. La mayoría son establecimientos denominados brewpubs (bares y/o restaurantes con fabricación propia de cerveza). En los últimos 15 años, han se han instalado en Europa numerosas micro-fábricas en dichos países y en otros como Italia, Suiza, Dinamarca, España... Y cada vez son más las que aparecen en esta denominada "craft beer revolution". Otros países de gran trayectoria como EEUU, han experimentado un crecimiento muy importante a lo largo de los años en lo que a producción de cerveza artesana se refiere. En aproximadamente 25 años han pasado a ocupar una cota de mercado del 1% al 6,5%, y la tendencia es que siga aumentando en los siguientes años.

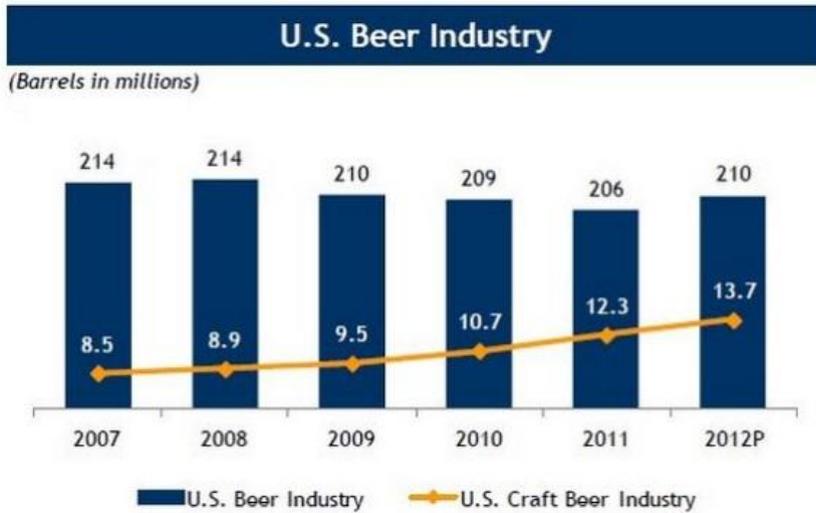


Figura 1-3 Producción de cerveza artesana frente a la cerveza fabricada por las grandes industrias en EEUU de 2007 a 2012. Fuente: <http://cervezartesana.es/>

Los EEUU son el ejemplo más representativo de la consecución de este movimiento por parte de los cerveceros artesanos. A continuación se muestra otro gráfico en el que se observa el número de cervecerías que han existido en los últimos 126 años.

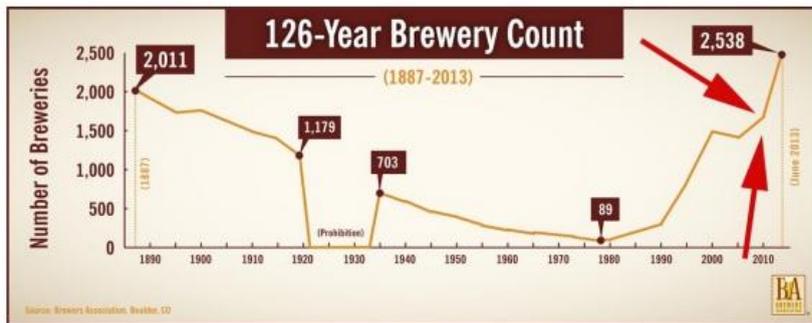


Figura 1-4 Número de fábricas de cerveza en EEUU desde el año 1887 hasta el año 2013. Fuente: <https://www.brewersassociation.org/>

El número era bastante elevado hasta que se aprobó la ley seca. Después del final de la prohibición del alcohol, el número de fábricas de cerveza no sólo era menor, si no que fue descendiendo durante los siguientes años. Las fechas, además, coinciden con el mayor crecimiento de las grandes fábricas. A partir de los años '80 se fue revirtiendo esa situación, sobre todo en la década de los años '90. Desde el año 2009, y gracias en gran parte a la difusión en las redes sociales e Internet, se está experimentando el crecimiento más importante de este sector. En la actualidad, existen craft breweries en todos los continentes. Es un sector muy exigente en el que solamente las fábricas que ofrecen productos de mucha calidad y se renuevan constantemente sobreviven. Se organizan campeonatos anuales tanto a nivel nacional, continental o mundial. En estas pruebas se determinan cuáles son las mejores cervezas en función de los diferentes estilos. Solamente los maestros cerveceros con un mayor dominio de las técnicas de elaboración son los que resultan galardonados obteniendo no solo la satisfacción personal sino también una imagen de marca muy prestigiosa. Para poder elaborar una cerveza de gran calidad; tanto los ingredientes, como los equipos de producción, así como las técnicas utilizadas en la fabricación son fundamentales. Es muy importante también obtener parámetros tanto cuantitativos como cualitativos de estas prácticas y del producto obtenido. Es por ello muy importante establecer una serie de protocolos durante la fabricación y el almacenamiento para poder garantizar la mayor estabilidad posible en estas cervezas especiales que pueden perder sus preciados aromas en cuestión de meses, horas e incluso días.

## 1.4. Cervecerías y microcervecerías en Europa

En este apartado, a continuación, mostraremos unos gráficos y tablas con información acerca del número de cervecerías y microcervecerías (cervecería artesanal) en Europa, como se distribuyen en cada país y su evolución a lo largo de los años (2010-2015).

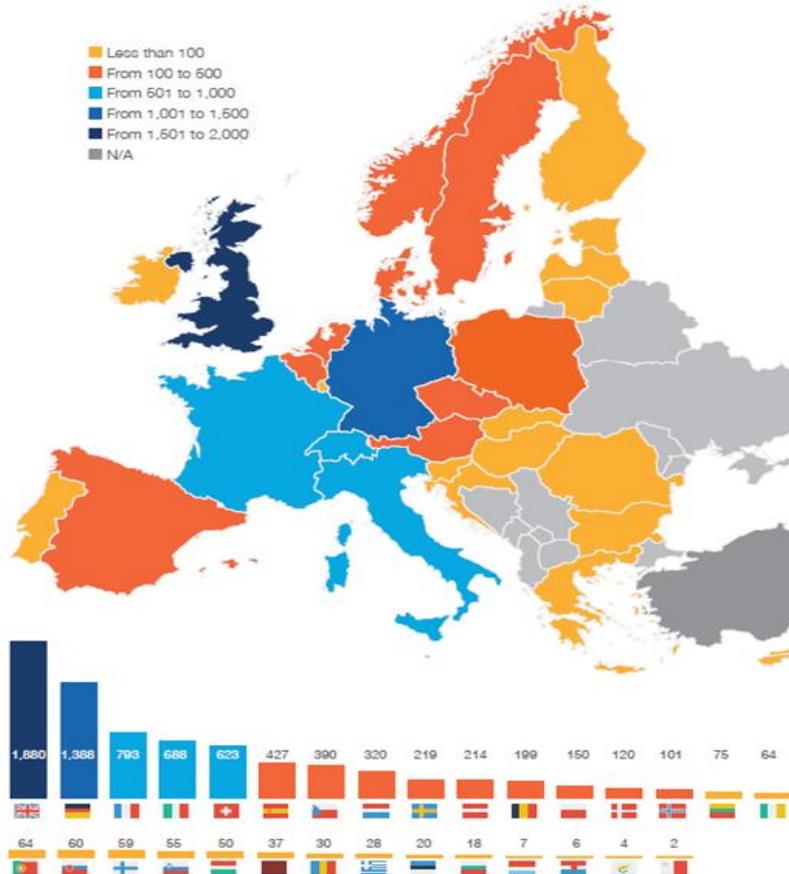


Figura 1-5 Distribución del número de cervecerías en Europa. Fuente: Documento estadístico edición 2016, cerveceros de Europa.

Country	2010	2011	2012	2013	2014	2015
 Austria	172	170	173	194	198	214
 Belgium	135	123	150	160	168	199
 Bulgaria	8	13	13	13	16	18
 Croatia	7	7	6	6	6	6
 Cyprus	2	2	2	2	4	4
 Czech Republic	151	191	213	308	338	390
 Denmark	N/A	150	150	150	150	150
 Estonia	6	6	7	10	15	20
 Finland	25	25	30	43	49	59
 France	387	442	503	580	663	793
 Germany	1,333	1,347	1,340	1,349	1,352	1,388
 Greece	11	17	18	20	20	28
 Hungary	N/A	24	50	50	50	50
 Ireland	26	26	26	30	50	64
 Italy	308	350	421	509	509	688
 Latvia	15	16	16	25	29	37
 Lithuania	41	73	73	73	75	75
 Luxembourg	7	7	7	7	7	7
 Malta	1	1	1	1	1	2
 Netherlands	N/A	125	165	N/A	263	320
 Poland	103	117	132	155	133	150
 Portugal	7	7	9	18	35	64
 Romania	18	17	17	18	22	30
 Slovakia	19	25	30	38	44	60
 Slovenia	22	N/A	N/A	30	51	55
 Spain	65	88	132	221	332	427
 Sweden	39	54	75	105	154	219
 United Kingdom	828	948	1,300	1,490	1,700	1,880
<b>Total EU 28</b>	<b>≈ 4,035</b>	<b>≈ 4,396</b>	<b>≈ 5,087</b>	<b>≈ 5,819</b>	<b>6,524</b>	<b>7,397</b>
 Norway	30	34	41	52	75	101
 Switzerland	328	360	375	409	483	623
 Turkey	11	11	11	12	9	N/A
<b>Total All</b>	<b>≈ 4,404</b>	<b>≈ 4,801</b>	<b>≈ 5,514</b>	<b>≈ 6,292</b>	<b>7,091</b>	<b>≈ 8,130</b>

Figura 1-6 Número de cervecerías según el año. Fuente: Documento estadístico edición 2016, cerveceros de Europa.

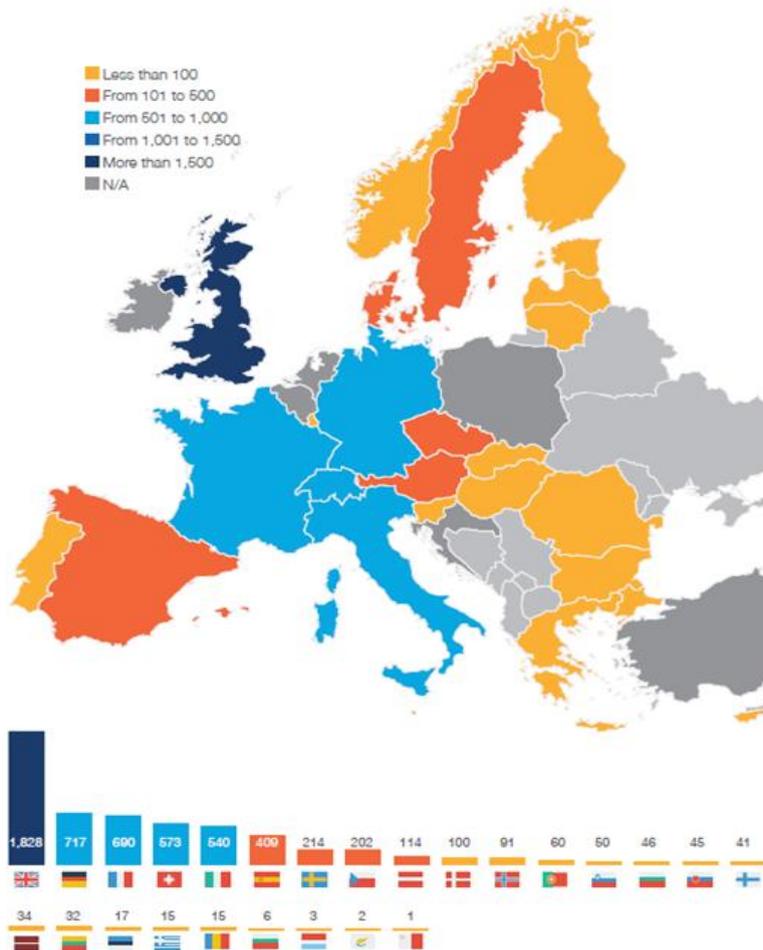


Figura 1-7 Distribución del número de microcervecías en Europa. Fuente: Documento estadístico edición 2016, cerveceros de Europa.

Country	2010	2011	2012	2013	2014	2016
 Austria	101	97	92	109	109	114
 Belgium	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 Bulgaria	4	5	5	5	6	6
 Croatia	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 Cyprus	N/A	0	0	0	2	2
 Czech Republic	65	90	20	207	238	202
 Denmark	N/A	N/A	N/A	100	100	100
 Estonia	3	3	4	7	12	17
 Finland	22	22	27	22	25	41
 France	322	373	433	504	566	690
 Germany	646	659	665	668	677	717
 Greece	N/A	7	8	9	10	15
 Hungary	N/A	20	46	46	46	46
 Ireland	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 Italy	294	336	407	491	505	540
 Latvia	N/A	N/A	N/A	20	26	34
 Lithuania	N/A	N/A	N/A	30	32	32
 Luxembourg	4	4	2	2	3	3
 Malta	0	0	0	0	0	1
 Netherlands	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 Poland	55	N/A	50	N/A	N/A	N/A
 Portugal	0	1	3	12	30	60
 Romania	0	2	2	3	7	15
 Slovakia	14	20	26	33	39	45
 Slovenia	20	20	28	28	49	50
 Spain*	46	70	114	203	314	409
 Sweden	34	49	70	100	149	214
 United Kingdom*	778	898	1,252	1,442	1,648	1,828
 Norway	21	26	33	43	65	91
 Switzerland	280	313	328	363	440	573
 Turkey	5	5	5	3	0	N/A

Figura 1-8 Número de microcervecías según el año. Fuente: Documento estadístico edición 2016, cerveceros de Europa.

## 1.5. Producción de cerveza

Tablas con los principales países productores de cerveza, en miles de hectolitros. En la misma tabla también se anota el año y la fuente de donde fueron obtenidos los datos.

Tabla 1-1 Producción de cerveza (miles hL) de los diferentes países. Fuente: FAOSTAT y la asociación nacional de cerveceros

País	Producción de cerveza (miles hL)	Año	Fuente
<b>China</b>	512075	2013	FAOSTAT
<b>United States</b>	224093	2013	FAOSTAT
<b>Brazil</b>	135500	2013	FAOSTAT
<b>Russia</b>	89000	2013	FAOSTAT
<b>Germany</b>	95623	2015	National brewers associations
<b>Mexico</b>	85210	2013	FAOSTAT
<b>United Kingdom</b>	44039	2015	National brewers associations
<b>Poland</b>	40890	2015	National brewers associations
<b>Spain</b>	34960	2015	National brewers associations
<b>South Africa</b>	31500	2013	FAOSTAT

<b>Japan</b>	30000	2013	FAOSTAT
<b>Ukraine</b>	27398	2013	FAOSTAT
<b>Nigeria</b>	26500	2013	FAOSTAT
<b>Netherlands</b>	24012	2015	National brewers associations
<b>Colombia</b>	23300	2013	FAOSTAT
<b>Thailand</b>	22725	2013	FAOSTAT
<b>Venezuela</b>	22420	2013	FAOSTAT
<b>South Korea</b>	20920	2013	FAOSTAT
<b>France</b>	20300	2015	National brewers associations
<b>Belgium</b>	19811	2015	National brewers associations
<b>Czech Republic</b>	19530	2015	National brewers associations
<b>Canada</b>	19167	2013	FAOSTAT
<b>Argentina</b>	18600	2013	FAOSTAT
<b>Australia</b>	17360	2013	FAOSTAT
<b>Romania</b>	15950	2015	National brewers associations
<b>Peru</b>	14350	2013	FAOSTAT

<b>Italy</b>	14015	2015	National brewers associations
<b>Vietnam</b>	12000	2013	FAOSTAT
<b>Angola</b>	10500	2013	FAOSTAT
<b>Philippines</b>	10330	2013	FAOSTAT
<b>Turkey</b>	9819	2015	National brewers associations
<b>Austria</b>	9023	2015	National brewers associations
<b>Ethiopia</b>	8429	2013	FAOSTAT
<b>Ireland</b>	7755	2015	National brewers associations
<b>Cameroon</b>	7500	2013	FAOSTAT
<b>Portugal</b>	6465	2015	National brewers associations
<b>Chile</b>	6000	2013	FAOSTAT
<b>Denmark</b>	5970	2015	National brewers associations
<b>Hungary</b>	5965	2015	National brewers associations
<b>Serbia</b>	5321	2013	FAOSTAT
<b>Azerbaijan</b>	5215	2013	FAOSTAT

<b>India</b>	5206	2013	FAOSTAT
<b>Taiwan</b>	5163	2013	FAOSTAT
<b>Kenya</b>	5075	2013	FAOSTAT
<b>Bulgaria</b>	4960	2015	National brewers associations
<b>Sweden</b>	4689	2015	National brewers associations
<b>Kazakhstan</b>	4676	2013	FAOSTAT
<b>Belarus</b>	4250	2013	FAOSTAT
<b>Dominican Republic</b>	4163	2013	FAOSTAT
<b>Tanzania</b>	4000	2013	FAOSTAT
<b>Finland</b>	3970	2015	National brewers associations
<b>Greece</b>	3820	2015	National brewers associations
<b>Cambodia</b>	3575	2013	FAOSTAT
<b>Switzerland</b>	3438	2015	National brewers associations
<b>Croatia</b>	3379	2015	National brewers associations
<b>Ecuador</b>	3300	2013	FAOSTAT

<b>Ivory coast</b>	3300	2013	FAOSTAT
<b>Uganda</b>	3150	2013	FAOSTAT
<b>Lithuania</b>	3108	2015	National brewers associations
<b>Democratic Republic of the Congo</b>	3099	2013	FAOSTAT
<b>Malaysia</b>	2990	2013	FAOSTAT
<b>New zealand</b>	2890	2013	FAOSTAT
<b>Bolivia</b>	2885	2013	FAOSTAT
<b>Zimbabwe</b>	2868	2013	FAOSTAT
<b>Panama</b>	2812	2013	FAOSTAT
<b>Indonesia</b>	2800	2013	FAOSTAT
<b>Cuba</b>	2601	2013	FAOSTAT
<b>Namibia</b>	2500	2013	FAOSTAT
<b>Slovakia</b>	2434	2015	National brewers associations
<b>Norway</b>	2308	2015	National brewers associations
<b>Burundi</b>	2100	2013	FAOSTAT
<b>Slovenia</b>	2029	2015	National brewers

			associations
<b>Uzbekistan</b>	1986	2013	FAOSTAT
<b>Guatemala</b>	1700	2013	FAOSTAT
<b>Algeria</b>	1650	2013	FAOSTAT
<b>El salvador</b>	1650	2013	FAOSTAT
<b>Laos</b>	1521	2013	FAOSTAT
<b>Paraguay</b>	1500	2013	FAOSTAT
<b>Estonia</b>	1398	2015	National brewers associations
<b>Zambia</b>	1390	2013	FAOSTAT
<b>Gabon</b>	1250	2013	FAOSTAT
<b>Ghana</b>	1250	2013	FAOSTAT
<b>Sri Lanka</b>	1250	2013	FAOSTAT
<b>Mozambique</b>	1240	2013	FAOSTAT
<b>Morocco</b>	1199	2013	FAOSTAT
<b>Singapore</b>	1155	2013	FAOSTAT
<b>Israel</b>	1150	2013	FAOSTAT
<b>Tunisia</b>	1134	2013	FAOSTAT
<b>Madagascar</b>	1120	2013	FAOSTAT

<b>Egypt</b>	1000	2013	FAOSTAT
<b>Honduras</b>	972	2013	FAOSTAT
<b>Jamaica</b>	950	2013	FAOSTAT
<b>Uruguay</b>	950	2013	FAOSTAT
<b>Moldova</b>	935	2013	FAOSTAT
<b>Benin</b>	900	2013	FAOSTAT
<b>Latvia</b>	856	2015	National brewers associations
<b>Bosnia and Herzegovina</b>	823	2013	FAOSTAT
<b>Macedonia</b>	700	2013	FAOSTAT
<b>Mongolia</b>	700	2013	FAOSTAT
<b>Botswana</b>	653	2013	FAOSTAT
<b>Nicaragua</b>	608	2013	FAOSTAT
<b>Albania</b>	580	2013	FAOSTAT
<b>Nepal</b>	550	2013	FAOSTAT
<b>Luxembourg</b>	287	2015	National brewers associations
<b>Malta</b>	154	2015	National brewers associations

Cyprus	3	2015	National brewers associations
--------	---	------	-------------------------------

## 1.6. Materias primas

Las materias primas que se utilizan en la composición de la cerveza son: malta de cebada, lúpulo, levadura y adjuntos (malta de otros cereales, granos crudos, azúcares y féculas).

**Malta de cebada:** La malta de cebada es la materia prima más importante como base para la producción del extracto y, al mismo tiempo, la única fuente esencial de enzimas. La cebada resulta ventajosa por las siguientes razones:

- El almidón en la cebada se gelatiniza a temperatura de maceración normal y, por tanto, no requiere ebullición.
- La proporción de amilosa y amilopectina en la cebada es muy parecida a la de la malta.
- La proteína de la cebada es muy parecida a la de la malta.

Sin embargo la malta es una materia prima cara, ya que el malteado requiere mucho tiempo y aporte de energía; por ello y con el fin de obtener un extracto más barato se utilizan productos no malteados preparados de granos de cereales, por ejemplo arroz, la sémola de maíz o la cebada.

**Lúpulo:** Se cultiva sólo en climas templados; uno de los principales productores es Inglaterra. Los conos femeninos poseen una serie de resinas amargas y aceites esenciales responsables del sabor amargo, cuya composición química es compleja: se han identificado más de novecientos compuestos: los principales se llaman humulonas. Se ha demostrado que estas sustancias, además de modificar el sabor y el aroma de la cerveza, son inhibidores del crecimiento de microorganismos no deseados, por lo que ayuda a disminuir el riesgo de contaminación.

**Adjuntos:** Cuando se dispone de malta con alta actividad enzimática, se puede anexas otra fuente de almidón, en una proporción del 20 al 30 por ciento, con el objetivo de bajar los costos. A estas otras fuentes de carbohidratos se les llama adjuntos y poseen un contenido bajo de proteínas y grasas.

Los adjuntos pueden ser sólidos o líquidos. Entre los sólidos se encuentran el arroz, el maíz y la harina de trigo; los líquidos son los jarabes de maíz, de cebada y de trigo, así como las soluciones concentradas de azúcar.

**La Levadura:** En el área de la cervecería, de acuerdo con el comportamiento de floculación, se ha clasificado las levaduras en cuatro clases:

-Clase I: las que no floculan.

- Clase II: las que floculan al final de la fermentación en aglomerados no muy compactos asociados a las burbujas de dióxido de carbono.

- Clase III: las que floculan al final de la fermentación en aglomerados muy compactos no asociados a las burbujas del gas.

- Clase IV: las que floculan desde etapas tempranas de la fermentación, por su capacidad de formar ramificaciones.

Las operaciones que se llevan a cabo en la elaboración de cerveza dependen de la clase de levadura que se usa.

**Los aditivos:** Son sustancias que normalmente no se consumen como alimento en sí, ni se usan como ingrediente característico, independientemente de que tengan o no valor nutritivo; se utilizan como un propósito tecnológico en la fase de fabricación, transformación, preparación, tratamiento, envase, transporte o almacenamiento y permanecen en el producto final.

Los coadyuvantes tecnológicos son materiales que se utilizan durante el proceso de elaboración pero, a diferencia de los aditivos, no forman parte de la composición final del producto (tierras de filtración, clarificantes).

**Agua:** El agua empleada en la fabricación de la cerveza es su componente mayoritario. Debe tratarse de agua potable y disponer de sistemas de control que garanticen su potabilidad.

La composición del agua tiene una gran influencia en la calidad y el tipo de cerveza. Por eso, durante muchos años, varias de las cervezas de renombre atribuyeron sus características a localidad del agua que había en sus fábricas; sin embargo, como no se conocía la composición de las sales del agua utilizada ni su influencia sobre la cerveza, no podían justificar con exactitud lo que pasaba. Hoy, se posee el conocimiento que permite acondicionar el agua de acuerdo con los requerimientos necesarios para el tipo de cerveza deseada.

## 1.7. Tipos de cerveza

Existen fundamentalmente dos grandes tipos de cerveza, de acuerdo con el tipo de levadura que se usa:

- Las cervezas tipo **lager**, elaboradas con levadura de flocculación baja.
- Las cervezas tipo **ale**, elaboradas con levadura de flocculación alta.

Dentro de cada uno de estos tipos básicos hay subtipos con diferentes características, cuya nomenclatura es variable y confusa; en la siguiente figura se presenta una recopilación de algunos de los nombres registrados en la literatura para estos subtipos.

Tipo de cerveza	Características
<b>LAGER</b>	
<i>Pilsener, Hell o Pale</i>	Clara, mucho lúpulo, seca, poco cuerpo.
<i>Dortmunder</i>	Igual que la pilsener, pero con menos lúpulo y sabor más suave.
<i>Munich, Dunkel o Dark</i>	Oscura, sabor intenso, aromática, poco lúpulo, poco amarga, dulce, mucho cuerpo.
<i>Bock, Marzen o Marzenbier</i>	Igual que la Munich, pero con más alcohol.
<b>ALE</b>	
<i>Pale ale</i>	Clara, mucho lúpulo, seca, muy amarga.
<i>Brown ale</i>	Oscura, poco lúpulo, dulce.
<i>Bitter</i>	Clara, mucho lúpulo, mucho cuerpo (pale ale de barril).
<i>Mild ale</i>	Semioscura, dulce, poco densa, amarga.
<i>Stout o Porter</i>	Muy oscura, mucho cuerpo, mucho lúpulo, amarga, dulce o seca.

Figura 1-9 Distintos tipos de cerveza en el mundo: sus nombres y características.  
Fuente: HERNANDEZ ALICIA, 2003, Microbiología industrial.

**Pilsener:** Cerveza rubia tipo Pilsen, con un grado alcohólico de 4.2° G.L de fino sabor amargo y un pronunciado aroma de lúpulo.

**Dortmunder:** Casi no tiene espuma, aunque la poca que produce, blanco grisáceo, no se disipa. Cuerpo de ligero a medio, de un color dorado perfecto, transparente y con buena carbonatación. El aroma es intenso con notas de malta y cereales y también ligeramente amargo. El sabor es muy fuerte, con mucho sabor a malta y bastante amargor, también tiene un poquito de acidez. El final, bastante peculiar, es muy largo y amargo, y, sobre todo, muy refrescante. 5,1 por ciento de alcohol.

**Dunkel:** Cerveza de trigo tipo dunkel con muchísima espuma entre beis y marrón claro, compacta, que disipa muy lentamente, pero quedando siempre una cantidad importante. Cuerpo medio de color cobrizo, turbia, totalmente opaca, con una carbonatación alta y chispeante. El aroma, fuerte, es impresionante, con notas de malta caramelizada, pan recién hecho y plátano. El sabor, menos intenso que el aroma, es una réplica del aroma al que hay que añadir algo de especias, un golpe fuerte de levadura al principio y un regusto amargo al final. El final es ligeramente agrio, destacando la levadura, y afrutado, dejando recuerdos de plátano. Muy

refrescante. 5,3 por ciento de alcohol.

**Stout:** Por sus ingredientes, califican como vegana. Mucha espuma, beis, muy cremosa y compacta, que disipa bastante rápido hasta quedar algo más de un centímetro. Cuerpo pleno, de color marrón muy oscuro casi negro, opaca, con algo de sedimentación y muy poca burbuja. Poco aroma en el que destacan maltas caramelizadas y algo de café y chocolate. El sabor es bastante complejo, con maltas tostadas, con un regusto ahumado, y algunas notas de café tostado intenso y algo de chocolate; también hay un ligero amargor inicial de un lúpulo que se diluye rápidamente. El final es seco, como un licor, a pesar de su poco alcohol, 4,5 por ciento, en el queda el regusto del café tostado intenso y algo de malta.

**Ale:** Con espuma media, blanco mate y esponjosa, bastante duradera. Cuerpo de medio a pleno, de color rojo cobrizo bastante intenso, transparente y con poca burbuja. Aroma apenas imperceptible en el que podemos destacar maltas tostadas y algo de caramelo. El sabor, al contrario que el aroma, es una intensa explosión de matices en la boca, destacando de nuevo unas muy interesantes maltas tostadas, un lúpulo afrutado de intensidad media y un muy ligero, pero persistente, regusto a metal. El final es una continuación de los matices del sabor, destacando al principio el lúpulo, para dejar paso a las maltas caramelizadas. Poco alcohol, 3,3 por ciento.

**Bitter:** es un tipo de cerveza inglesa, derivada originalmente de la Pale Ale (cerveza inglesa pálida). Una versión más fuerte de la misma se ha convertido en una popular cerveza en botella. El ingrediente principal es cebada malteada, agregándose lúpulo para mejorar las características, y para dar un olor y gusto distintivos. Las Bitter cubren una amplia variedad de sabor, aroma y aspecto. Éstos incluyen cobre, malta, seca y dulce.

**Bock:** es un tipo de cerveza originaria de la ciudad alemana de Einbeck. Esta cerveza es muy fuerte, con un extracto primitivo superior al 14 por ciento y de un color oscuro. Es una cerveza de baja fermentación y posee un alto contenido de alcohol. Esta cerveza sólo se produce durante la primavera y el otoño. La bock es una cerveza robusta, de color pardo aunque también se elabora rubia, que se consume en toda Alemania y algunas partes de Holanda.

## 2. PROCESO INDUSTRIAL

---

**E**n este apartado hablaremos sobre el proceso de elaboración y explicaremos proceso a proceso en que consiste y como se lleva a cabo. Luego haremos un análisis de los diferentes consumo de energía del proceso, así como su importancia de cara a la producción de la cerveza.

### 2.1. El proceso de elaboración

El proceso de elaboración de la cerveza utiliza cebada malteada y / o cereales, Granos no malteados y / o jarabes de azúcar / maíz (complementos), lúpulo, agua, Y levadura para producir cerveza. La mayoría de los cerveceros utilizan cebada malteada Principal materia prima. Dependiendo de la ubicación de la cervecería Y la calidad del agua entrante, el agua suele ser pretratada con una filtración de carbono por ósmosis inversa u otro tipo de sistema de filtrado.

#### 2.1.1. Esquema del proceso

A continuación mostramos un esquema de una instalación de producción de cerveza, identificando las diferentes entradas y salidas del proceso, junto con una tabla distinguiendo cada uno de los procesos involucrados.

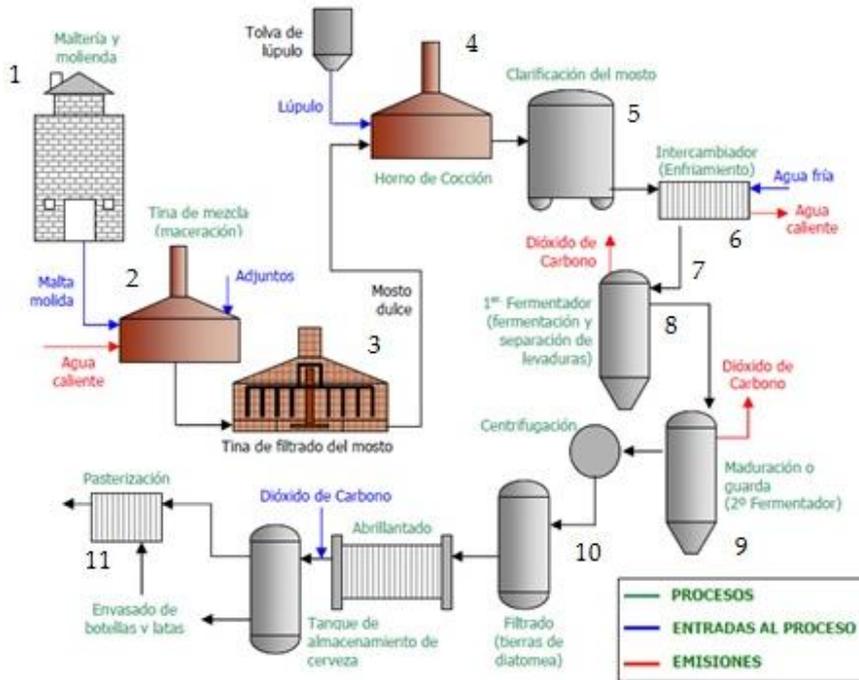


Figura 2-1 Esquema de una planta de elaboración de cerveza. Fuente: Servicio de Prevención y Control Ambiental, Junta de Andalucía.

Tabla 2-1 Diagrama del proceso de elaboración de cerveza. Fuente: HERNANDEZ ALICIA, 2003, Microbiología industrial.

Proceso	Equipo
1. Molienda	Molino
2. Maceración	Ollas de maceración

<b>3.Filtración del mosto</b>	Filtro
<b>4.Ebullición del mosto</b>	Olla de ebullición
<b>5.Separación de precipitados</b>	Whirlpool
<b>6.Enfriamiento</b>	Enfriador de placas
<b>7.Inoculación de levadura</b>	Tuberías
<b>8.Fermentación</b>	Tanques de fermentación
<b>9.Maduración</b>	Tanques de maduración
<b>10.Filtración</b>	Filtro de cerveza
<b>11.Envasado</b>	Línea de envasado

### **2.1.2. La molienda**

La malta debe ser molida para facilitar el contacto entre las enzimas y los sustratos presentes en ella. La operación se lleva a cabo en un molino, similar al que se muestra. La elección y el control del tamaño de las partículas de la harina influyen mucho en la eficiencia de los pasos posteriores de extracción de sustancias y separación de la cascara. Entre menos sea el tamaño promedio de la harina va a existir un mayor contacto entre las enzimas y los sustratos, y la extracción será mejor; sin embargo, una molienda muy fina reducirá demasiado la cáscara del grano de la cebada, que es una de las principales constituyentes del residuo, y la operación de separación se hace más difícil.

La trituración o molido de la malta se puede realizar de dos formas: molido en seco o molido en húmedo.

### **Molido en seco:**

Para el molido en seco se utilizan molinos de rodillos con 2 o 6 rodillos. Los granos pasan entre los rodillos que giran en sentido contrario, con lo que se rompen y muelen a un tamaño que depende del ajuste de la distancia entre los rodillos. De esta forma se separan también las cáscaras.

Es importante que la malta esté seca para evitar que se peguen partículas a los rodillos. Además el tamaño de los granos debe ser uniforme para conseguir una buena molienda.

El producto de la molienda en seco se puede almacenar durante varias horas antes de su hidratación en el curso de maceración.

### **Molido en húmedo:**

En algunas factorías se rocía malta con agua o la someten a la acción de vapor, inmediatamente antes de que entre en el molino. Este tratamiento flexibiliza la cascarilla y la hace más resistente a la trituración. Un tratamiento más severo consiste en humedecer el molino en el que la malta se remoja, hasta elevar su humedad entre un 30-40%, antes de que los rodillos trituren los granos. El remojo no debe durar más de 30 minutos.

El producto de la molienda húmeda es una papilla de cascarilla y partículas de endospermo que se bombea o vierte directamente a la cuba de extracción.

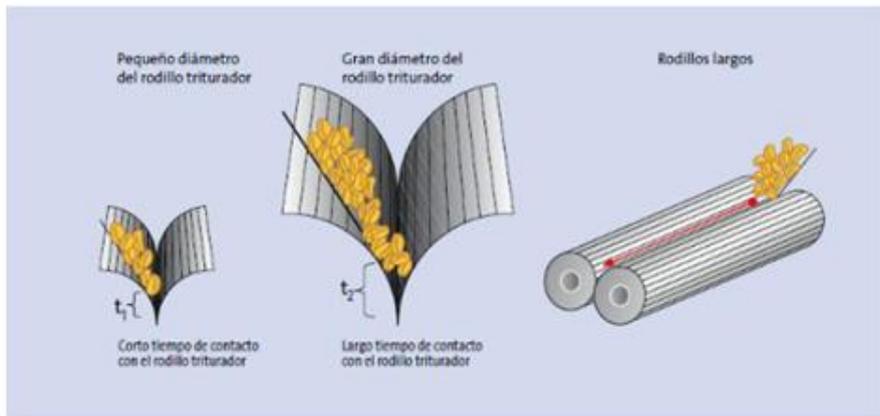


Figura 2-2 Detalle de diferentes tipos de rodillos. Fuente: <https://www.krones.com/>

### **2.1.3. La maceración**

En esta etapa se pone en contacto la malta sólida con el agua, lo que permite que las enzimas (formadas durante la germinación) degraden los constituyentes de la malta (carbohidratos y proteínas) a formas solubles y, entonces, se origina el líquido que se va a fermentar, denominado mosto. La mezcla de agua y malta se somete a un calentamiento en el macerador, nombre que se le asigna al tanque donde se lleva cabo el proceso de maceración. La temperatura empleada varía de una cervecería a otra, pues depende de aspectos como la naturaleza del cereal utilizado, las características del producto deseado, y el tipo y la capacidad del equipo. La mayoría de los sistemas de maceración, actualmente en uso, pueden ser clasificados ya sea como sistemas de infusión o sistemas de cocción o una combinación de los dos o una modificación de uno u otro. El método de maceración elegido ha de adaptarse al tipo de mosto y cerveza deseada, las materias primas empleadas, la sala de cocción y las condiciones económicas.

#### **2.1.3.1. Tipos de maceración**

##### **- Maceración por infusión:**

Consiste en el calentamiento directo del macerado hasta alcanzar la temperatura máxima, que es la de sacarificación. Con este método se va proporcionando calor progresivamente a la mezcla en agitación, hasta alcanzar las temperaturas seleccionadas de un modo escalonado. Es decir, cuando se alcanza cada uno de los niveles de temperatura programados se realiza un estacionamiento temporal o reposo térmico para que las enzimas completen la actividad hidrolítica. La maceración por infusión se puede aplicar para la elaboración de cualquier tipo de cerveza y se lleva a cabo en una sola cuba. Requiere el empleo de maltas bien desagregadas con un elevado potencial enzimático. El coste energético es menor que en los métodos por decocción.

### - Maceración por decocción:

Se extrae un volumen parcial del macerado (al que se denomina temple) de la caldera principal y se lleva a otra caldera (de los temples), donde se lleva a ebullición. Cuando el temple se devuelve a la caldera principal, se eleva indirectamente la temperatura del macerado total. Esta operación se puede realizar 1, 2 o 3 veces (decocción con 1, 2 o 3 temples).

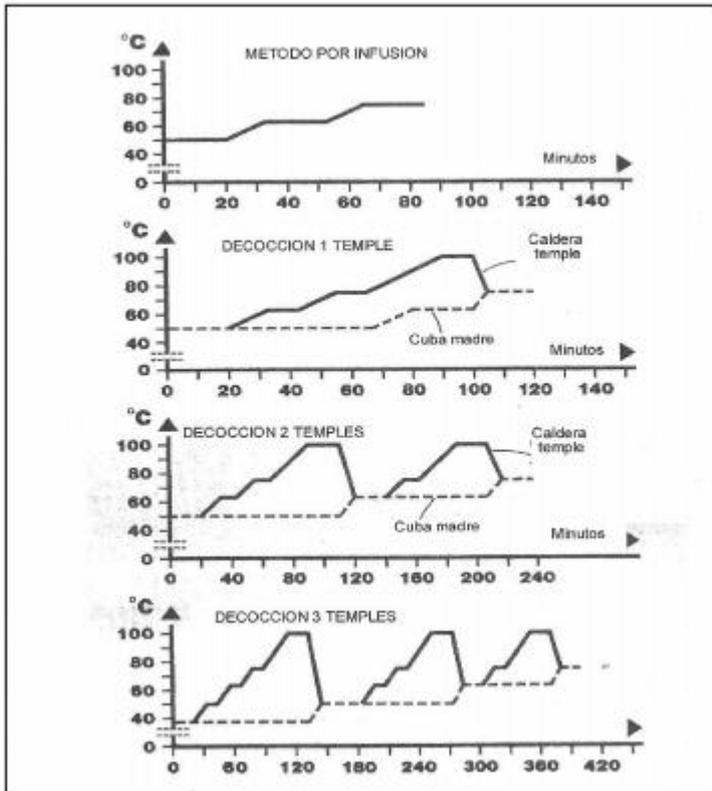


Figura 2-3 Diagrama de temperatura-tiempo en las maceraciones por infusión y por decocción. Fuente: Ronnie Willaert, Section V. Beverages: The beer brewing process: Wort production and beer fermentation, chapter august 2006.

La decocción requiere el empleo de dos calderas, una más grande que la otra, ya que el volumen de mosto que se lleva a ebullición es mucho menor que el que queda en la caldera principal.

Entre 10 y 35° C	Actividad de las enzimas proteolíticas
	Continuación de los fenómenos de la germinación (desagregación)
Entre 45 y 52° C	Temperatura de peptonización
	Zona importante de actividad de proteasas
55° C	Temperatura óptima de formación de proteína soluble no coagulable
Entre 53 y 62° C	Formación de maltosa muy fácilmente fermentable
Entre 62 y 65° C	Formación máxima de maltosa.
Entre 65 y 70° C	Formación decreciente de maltosa y creciente de dextrinas
70° C	Destrucción de proteasas
Entre 70 y 75° C	Aumento de la velocidad de sacarificación. Formación de dextrinas y azúcares fermentable en menor proporción
76° C	Temperatura límite de sacarificación
Entre 80 y 85° C	Formación de dextrinas. Únicamente actividad de licuefacción
Entre 85 y 100° C	Gelatinización del almidón por efecto térmico (Engrudado)

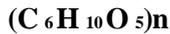
Figura 2-4 Efectos de la temperatura en la maceración. Fuente: Ronnie Willaert, Section V. Beverages: The beer brewing process: Wort production and beer fermentation, chapter august 2006.

### 2.1.3.2. La química de la Maceración

Proceso donde se extraen de la malta y eventualmente de los granos crudos la mayor cantidad de extracto y de la mejor calidad posible en función al tipo de cerveza que se busca fabricar. La extracción se logra principalmente por hidrólisis enzimático, solamente un 10 por ciento de la extracción es debida a una simple disolución química. Las amilasas desdoblan el almidón en dextrinas y maltosa principalmente las enzimas proteolíticas desdoblan las proteínas complejas en materias nitrogenadas solubles, la fitasa desdobla la fitina en inositol y fosfato.

Estas transformaciones enzimáticas han sido ya empezadas durante el malteado a un ritmo mucho menos intenso del que sucederá en el conocimiento; donde debido a la acción de las diferentes temperaturas y la gran cantidad de agua las reacciones suceden muchas veces en forma explosiva.

Cuantitativamente el desdoblamiento del almidón en azúcares y dextrinas es el más importante. La fórmula bruta del almidón es:



Las principales reacciones que ocurren durante el cocimiento por acción de las amilasas son formación de dextrinas.



Formación de maltosa:



Y en menor proporción formación de glucosa:



El almidón contiene dos polisacáridos diferentes: amilosa y amilopectina; la amilosa está constituida por cadenas rectilíneas de glucosa con uniones 1-4; la amilopectina está constituida por cadenas ramificadas de uniones de glucosa en uniones alfa 1-4 y alfa 1-6 existiendo también uniones del tipo a 1-3. Para desdoblar el almidón se necesitan varias amilasas siendo las principales las alfa y beta amilasas.

### **Propiedades de las enzimas:**

La propiedad más importante de las enzimas es su actividad en la disociación de los substratos. Esta actividad depende de varios factores:

### **Dependencia de la actividad enzimática de la temperatura:**

La actividad de las enzimas depende en primer lugar de la temperatura.

Aumenta con temperatura creciente y alcanza un valor óptimo específico para cada enzima, a la temperatura óptima. A mayores temperaturas tiene lugar una inactivación en rápido aumento, debido a un desdoblamiento de la estructura

tridimensional de la enzima (desnaturalización). La inactivación y eliminación de la actividad enzimática es tanto mayor, cuanto más hacia arriba es excedida la temperatura óptima. Las enzimas trabajan también a menor temperatura, pero entonces notablemente más lento. A continuación se muestra un gráfico en el que se observa como varía la velocidad de la reacción en función de la temperatura a la que trabaja la enzima.

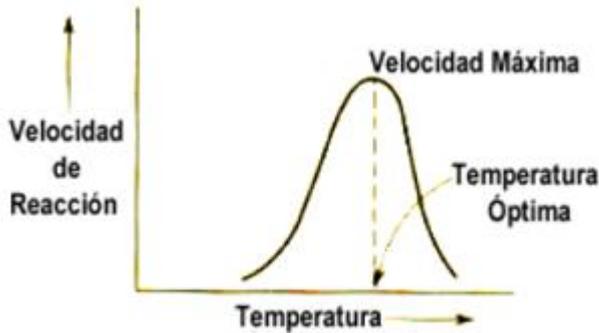


Figura 2-5 Efecto de la temperatura en la velocidad de la reacción. Fuente: <https://www.ehu.eus/>

La actividad enzimática típica para una determinada temperatura no es modificable. En tanto que, a bajas temperaturas, la actividad se conserva casi ilimitadamente, ésta disminuye rápidamente con el tiempo, a temperatura creciente.

### **Dependencia de la actividad enzimática del valor pH:**

Dado que la estructura tridimensional de las enzimas se modifica también en dependencia del valor pH, resulta de ello una dependencia de la actividad enzimática del valor pH. La actividad enzimática alcanza un valor óptimo con un valor pH, que es específico para cada enzima, y disminuye con mayores y menores valores pH.

La influencia del valor pH sobre la actividad enzimática no es, por lo general, tan grande como la influencia de la temperatura.

Los procesos de degradación de sustancia importantes para el cervecero son:

**-La degradación del almidón**

**-La degradación d  $\beta$ -glucano**

**-La degradación de sustancias albuminoides**

### **Degradación del almidón:**

El componente más importante de la cerveza es el alcohol formado durante la fermentación de los azúcares. Es por ello necesario que el almidón sea degradado predominantemente a maltosa. Aparte de ello, siempre se forman productos intermedios, las dextrinas límite, que no son fermentados.

El almidón debe ser degradado completamente a azúcares y a dextrinas límites no coloreables con yodo. La degradación completa hasta ese estado de reacción normal al yodo es necesaria por motivos económicos. Además, los restos de almidón no degradado causan un “enturbiamiento de almidón” en la cerveza.

La degradación de almidón ocurre en tres etapas, cuyo orden no es modificable, pero que se funden una en la otra:

**-El engrudamiento**

**-La licuefacción**

**-La sacarificación.**

### **El engrudamiento:**

En solución caliente y acuosa, una gran cantidad de agua es incorporada por las moléculas de almidón. De este modo, tiene lugar un aumento de volumen, el cual causa que los granos de almidón, unidos fuertemente entre sí, se hinchen y finalmente revienten. Se forma una solución viscosa (espesa); el grado de la viscosidad depende de la cantidad de agua incorporada y difiere entre los distintos tipos de cereales. Así, por ejemplo, el almidón del arroz se hincha mucho más que el almidón de la malta. Este proceso, en el que no tiene lugar degradación alguna de sustancia, se denomina engrudamiento. Es una parte importante de la elaboración diaria de comidas (por ejemplo la cocción de flan, el espesamiento de sopa o salsa).

Dado que el almidón engrudado ya no se encuentra ligado en los granos sólidos de almidón, pueden actuar directamente sobre el mismo las enzimas contenidas en el

líquido. Por el contrario, la degradación de almidón sin engrudar dura varios días.

Por engrudamiento se entiende el hinchamiento y la acción de reventar de los granos de almidón en solución caliente y acuosa. Las moléculas de almidón liberadas en esta solución viscosa son mucho mejor atacadas por las amilasas que el almidón no engrudado.

Las temperaturas de engrudamiento difieren para cada tipo de cereal:

Los almidones de malta y de cebada engrudan en presencia de amilasas a 60 °C, mientras que por ejemplo el almidón de arroz engruda a temperaturas de 80 a 85 °C.

### **La licuefacción:**

Las cadenas largas del almidón, formadas por residuos de glucosa (amilosa y amilopectina), son rotas muy rápidamente por las  $\alpha$ -amilasas, en cadenas más pequeñas. Por esto, la viscosidad de la templeta engrudada disminuye muy rápidamente. La  $\beta$ -amilasa sólo es capaz de degradar lentamente las cadenas largas desde el extremo que no reduce, de manera que la degradación únicamente por parte de esta enzima duraría días enteros.

Así pues, se entiende por licuefacción a la disminución de la viscosidad del almidón engrudado, por parte de la  $\alpha$ -amilasa.

### **La sacarificación:**

La  $\alpha$ -amilasa rompe las cadenas de la amilosa y de la amilopectina progresivamente hasta obtener dextrinas con 7 a 12 residuos de glucosa.

La  $\beta$ -amilasa disocia dos residuos (maltosa) de los grupos terminales de las nuevas cadenas formadas. Con esto, la  $\alpha$ -amilasa forma asimismo con cada disociación dos cadenas terminales, que pueden ser atacadas por la  $\beta$ -amilasa, al disociar maltosa. Debido a la diferente longitud de las cadenas, se forman, aparte de maltosa, otros azúcares, tales como glucosa y maltotriosa. En todos los casos, la degradación de sustancias se detiene 2 a 3 residuos de glucosa antes de los enlaces 1,6 de la amilopectina, dado que estos enlaces 1,6 no pueden ser rotos por la  $\alpha$ -amilasa ni por la  $\beta$ -amilasa. Estas dextrinas límite siempre se encuentran presentes en un mosto normal, aunque un exceso de éstas producirá enturbiamiento de la cerveza final.

En la siguiente figura se muestran estos procesos:

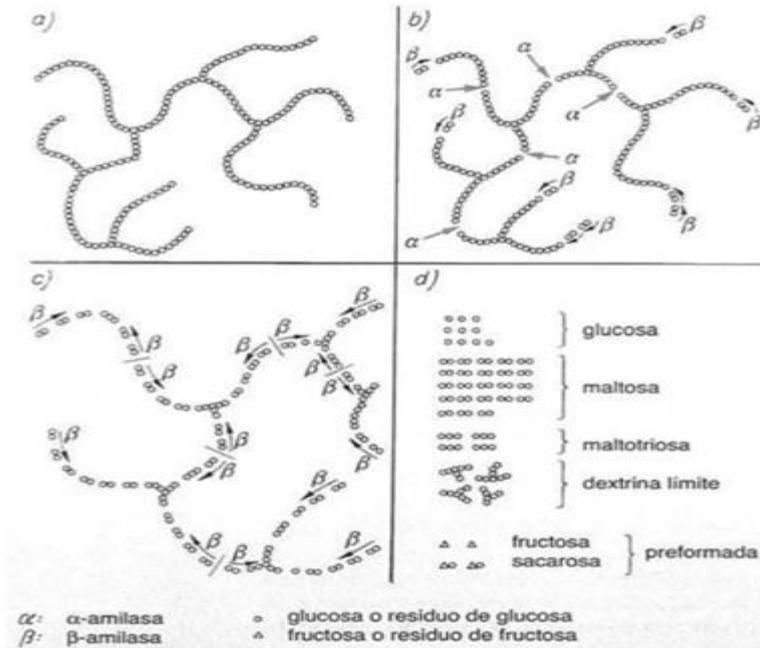


Figura 2-6 Degradación del almidón durante la maceración. Fuente: <http://www.revistamash.com/>

Así pues, las amilasas degradan el almidón de la siguiente forma:

La  $\alpha$ -amilasa degrada las cadenas largas de almidón a dextrinas más pequeñas. Actúa de forma óptima a temperaturas de 72 a 75°C y es destruida rápidamente a 80°C. El valor de pH óptimo se encuentra de 5,6 a 5,8.

La  $\beta$ -amilasa disocia maltosa de los extremos de cadena no reducidos, pero también se forman glucosa y maltotriosa. Actúa de forma óptima a temperaturas de 60 a 65°C y es muy sensible a las temperaturas mayores, siendo inactiva a 70°C. El valor de pH óptimo es de 5,4 a 5,5.

Es importante controlar la degradación del almidón, dado que si no se consigue su degradación causa un enturbiamiento en la cerveza. En un proceso usual de

maceración, se puede esperar que aproximadamente el 65% de los azúcares que entran en solución están compuestos por maltosa, aproximadamente el 18% por maltotriosa e igual porcentaje de sacarosa, glucosa y fructosa. El control de la degradación del almidón se realiza por medio de tintura de yodo. El examen se llama ensayo de yodo y se realiza siempre con la muestra enfriada de mosto. La solución de yodo produce una coloración de azul a rojo con almidón y dextrinas mayores, mientras que todos los azúcares y dextrinas menores ya no causan una coloración en la tintura de yodo, siendo el resultado de color amarillo-marrón. La degradación de las moléculas de almidón hasta el estado de reacción normal al yodo se llama sacarificación.

Seguidamente, se van a describir las diferencias que existen entre los distintos productos de la degradación del almidón, en lo referente a su fermentabilidad por la levadura de cerveza:

**-Dextrinas límite:** No son fermentadas

**-Maltotriosa:** Es fermentada por todas las cepas de levadura de fermentación alta, en el momento en el que toda la maltosa está fermentada. Esto es, en durante el proceso de maduración.

**-Maltosa:** Estos disacáridos son rápidamente fermentados por la levadura (azúcar de fermentación principal).

**-Glucosa:** Es la primera en ser utilizada por la levadura (azúcar de inicio de fermentación).

La fracción porcentual de azúcares fermentables en el extracto total del mosto determina la atenuación límite. Por medio de la atenuación límite, se establece el contenido alcohólico de la cerveza y con ello se influye decisivamente sobre el carácter de la cerveza.

La proporción de azúcares fermentables es determinada por la actividad variable de las enzimas. La composición del mosto depende en gran medida de la maceración, influyendo tanto sobre el desarrollo de la fermentación como sobre la calidad de la cerveza. Los factores de mayor influencia sobre la degradación del almidón son:

### **Temperatura durante la maceración:**

Macerando a temperaturas de 62 a 64°C se obtiene el contenido más alto posible de maltosa y la mayor atenuación límite. Los mostos ricos en maltosa fermentan más rápidamente y mantienen durante más tiempo la levadura en suspensión.

Macerando a temperaturas de 72 a 75°C se obtienen cervezas ricas en dextrinas con baja atenuación límite.

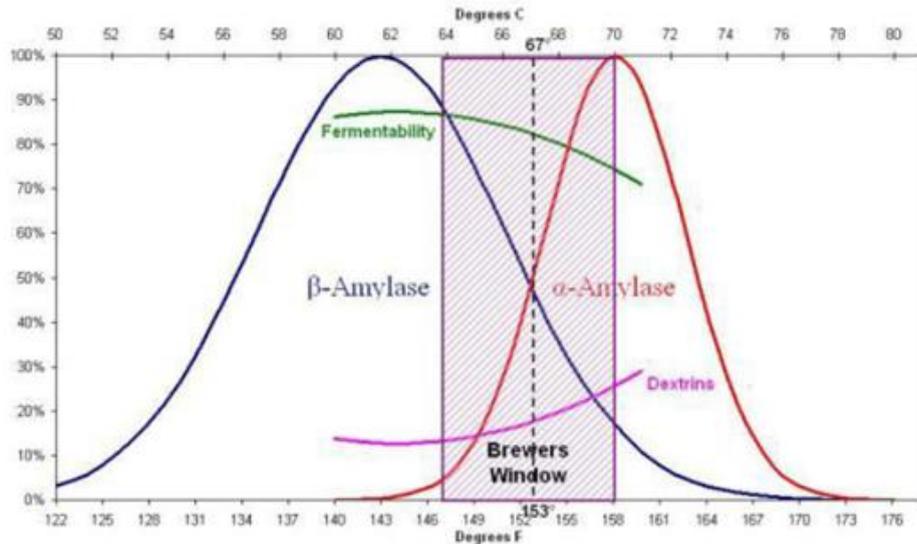


Figura 2-7 Temperatura óptimas de las enzimas ( $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -amilasa), porcentaje de azúcares fermentables y porcentaje de dextrinas en 1h de macerado. Fuente: <http://brewmasters.com.mx/>

La influencia de las temperaturas de maceración es extremadamente grande, de manera que durante la maceración se mantienen siempre reposos a las temperaturas óptimas de las enzimas.

### **Duración de la maceración:**

Las enzimas no actúan de forma uniforme durante el proceso de maceración. Se distinguen dos etapas en la actividad de las enzimas dependientes del tiempo:

1. El máximo de actividad enzimática es alcanzado luego de 10 a 20 minutos. El máximo de la actividad enzimática es mayor a temperaturas entre 62 a 64°C que a

67 a 68°C.

2. Luego de 40 a 60 minutos, la actividad enzimática disminuye primeramente de forma rápida, pero la reducción de actividad decrece de forma continua.

De esto se concluye que la influencia de las temperaturas de maceración sólo puede ser considerada en relación con la duración de la maceración.

El proceso de maceración dura entre 60 y 90 minutos.

### **Valor de pH de la maceración:**

Tal y como se ha visto, la actividad de las enzimas depende del valor de pH. El rango óptimo del pH es de 5,4 a 5,6 en la maceración, para ambas amilasas, incrementando el contenido de extracto ya que se forman más azúcares fermentables y aumenta la atenuación límite.

### **Valor del empaste (Relación kg agua : kg malta)**

El empaste es la relación entre kg o litros de agua : kg de malta de cebada del primer mosto. En las maceraciones con una proporción de kg de malta más elevada, las enzimas están más protegidas de una inactivación térmica demasiado rápida. De esta manera, aumenta la cantidad de azúcares fermentables y con ello la atenuación límite. Pero cabe destacar, que esta influencia de las concentraciones de empaste sobre la degradación del almidón es menor que la influencia de los otros factores.

Los valores más habituales de empaste son de 2,5:1 a 3:1. Concentraciones de 2:1 retrasarían el proceso de filtración.

Aunque ya se han visto los diferentes propósitos de la maceración y la forma de llegar a conseguirlos, se va a realizar un pequeño resumen de las condiciones en las que se debe realizar la maceración para obtener un primer mosto de calidad.

El primer paso es mezclar la malta molida con el agua tratada dentro del tanque de maceración. Debe de realizarse de manera que el agua y la molienda sean mezcladas íntimamente entre sí y sin que se formen grumos. Para ello el agitador girará a bajas revoluciones, en el caso de que se detecten grumos deberán “romperse” con la pala de forma manual. Es importante en este punto evitar la inclusión de oxígeno junto con la malta entrante.

Una vez esté todo mezclado debe ajustarse el pH a un valor siempre mayor de 5,2. Para acidificar la mezcla se añadirá ácido fosfórico en cantidades muy pequeñas, chequeando el pH hasta llegar al pH objetivo. Hay que tener en cuenta que las

maltas acidifican el mosto, siendo las maltas especiales las que mayor variación producen por lo que se debe tener precaución con la cantidad que se adiciona. A continuación se muestra un gráfico con los valores óptimos de temperatura y pH de las diferentes enzimas encargadas de la maceración:

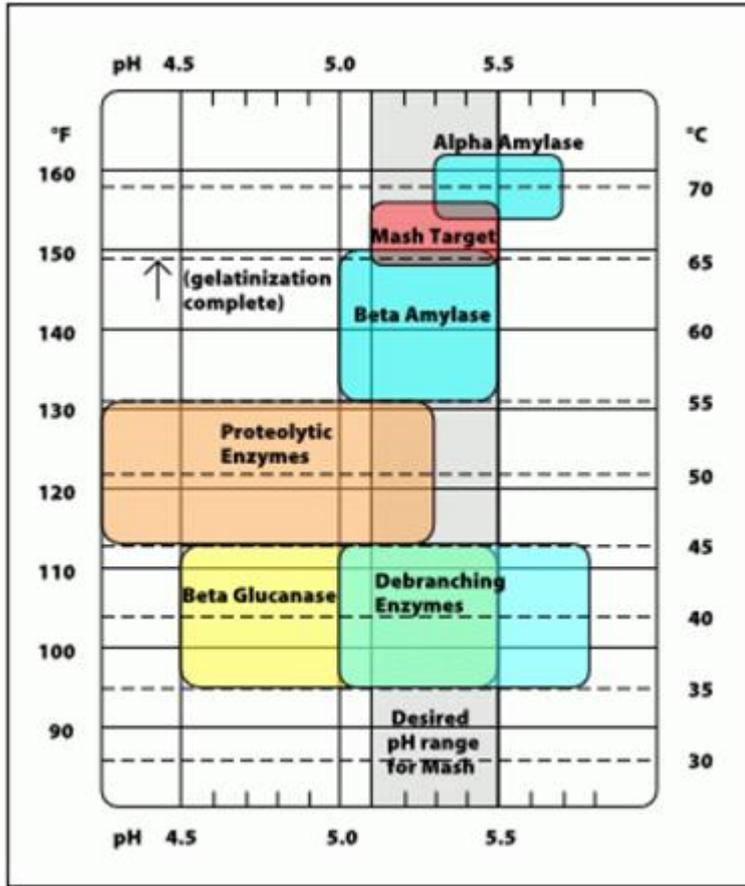


Figura 2-8 Tabla de valores óptimos de pH y temperatura de las diferentes enzimas en el proceso de maceración.

Fuente: <http://www.cervezadeargentina.com.ar/>

Una vez ajustado el pH, comienza el proceso de maceración en el que se debe

incrementar la temperatura de la mezcla hasta alcanzar las temperaturas óptimas de las enzimas que se desea dejar actuar, así como mantener los tiempos de reposo a esa temperatura.

Hay múltiples escalas diferentes de temperaturas según estilos de cerveza y gustos. No se debe macerar más de 120 minutos ni aumentar las temperaturas de las diferentes escalas o etapas a más de 1°C por minuto. El agitador debe de girar constantemente pero sin llegar a hacer un remolino. Teniendo en cuenta los estilos de cerveza que se quieren desarrollar en las instalaciones aquí descritas (cervezas de alta fermentación); que se distribuirán por toda la península y que en unos años se pretende exportar parte de la producción, se realizarán las siguientes etapas de macerado:

**-1ª etapa:** Temperatura entre 50 y 55°C durante 10-20 minutos para metabolizar las proteínas.

**-2ª etapa:** Temperatura de 66°C (68°C si se quiere una cerveza más dulce o con más cuerpo) durante 30 minutos.

**-3ª etapa:** Temperatura de 72°C durante 30 minutos y al finalizar se aumenta hasta 78°C para facilitar la filtración con la menor densidad del mosto.

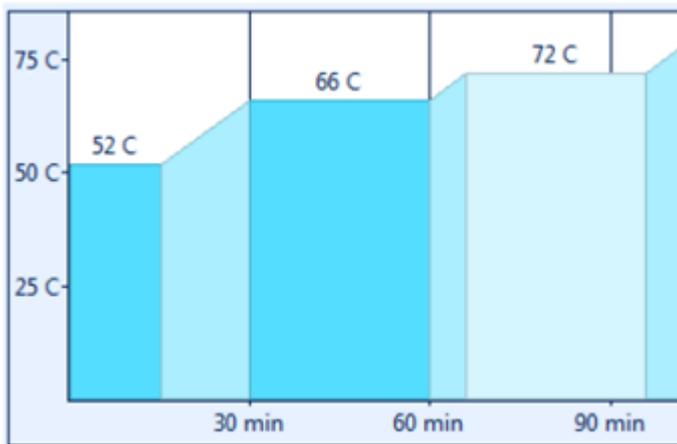


Figura 2-9 Gráfico de maceración. Fuente: Software Beer Smith 2.0.

#### **2.1.4. La filtración del mosto**

Una vez concluida la maceración, el producto se transfiere a un tanque clarificador, llamado lauter, donde se separa el líquido del afrecho o los constituyentes insolubles.

##### **Cuba-filtro:**

En las extracciones con temperatura programada y por decocción se emplea normalmente la cuba-filtro que está diseñada para efectuar una filtración de la papilla una vez sacarificada.

Se utilizan cubas de lecho no muy profundo, que proporcionan vaciados en tiempos de 2 a 3 horas con una recuperación del extracto del 98-99%. Para agotar el bagazo se puede añadir agua. Las cubas filtro son flexibles en cuanto a su uso y proporcionan un bagazo con un contenido en humedad del 80%, aproximadamente.

Se han diseñado variantes para combinar una mayor área de filtración con una superficie de instalación más reducida. El tiempo de vaciado se reduce a 1-2 horas con una recuperación de extracto del 98-99%, aunque el bagazo queda muy húmedo y requiere un escurrido posterior. Estos tanques no resultan adecuados para producir mostos dulces de un peso específico superior a 1,6.

##### **Filtros de mosto:**

Los filtros de mosto ocupan menos espacio que las cubas-filtro y pueden trabajar con malta más finamente molida.

Su construcción es como la de un filtro prensa y consta de unas placas de tejido filtrante alternadas con placas huecas. El tiempo de vaciado es de 1,5-2,5 horas con una recuperación de extracto del 99,95%. Este sistema es menos flexible y rinde mostos más turbios que las cubas-filtro, aunque se obtiene un bagazo con un contenido en humedad menor, alrededor del 75%.

Una variante moderna, el filtro de mosto de alta presión soluciona el problema de los mostos turbios y permite una reducción del agua para aotar el bagazo sin pérdidas de extracto. El equipo es muy apropiado para la obtención de mostos de alto peso específico y son económicos en lo que se refiere al consumo de agua.

Al finalizar el proceso de la maceración, se obtiene una mezcla acuosa de sustancias disueltas y no disueltas. La solución acuosa de los extractos se denomina mosto, mientras que las partes no disueltas se denominan bagazo. El bagazo está

compuesto principalmente por las cáscaras, los embriones y otras sustancias que no entraron en solución durante la maceración. Para la fabricación de cerveza se utiliza solamente el mosto, por ello debe ser separado del bagazo.

Esta operación de filtrado se realiza en la cuba de filtración.

En la filtración del mosto, el extracto debe ser recuperado, en lo posible de forma total. Las cáscaras del bagazo cumplen el papel de material filtrante. Por ello, es fundamental que se realice un proceso correcto de molturación del grano, sin llegar a romper la cáscara.

El proceso de filtración del mosto ocurre en dos fases, que se suceden de forma separada, una tras otra:

#### **-Filtración del primer mosto**

#### **-Lavado del bagazo (o sparging)**

#### **Filtrado del primer mosto:**

El mosto que se escurre del bagazo se denomina primer mosto. Aunque en éste queda extracto contenido. Este extracto debe ser recuperado para obtener un rendimiento más óptimo. Por este motivo, el bagazo es lavado con agua caliente para extraer el extracto soluble, tras haber sido descargado el primer mosto.

El primer mosto deberá tener un contenido en extracto del 4 al 6% mayor que la cerveza a fabricar, puesto que, el lavado para la extracción diluye cada vez más el mosto.

Para filtrar el mosto, se recircula sacándolo por la válvula inferior y reingresándolo por la parte superior del tanque. Se controla su claridad a través de una mirilla colocada justo detrás de la bomba que recircula el mosto.



Figura 2-10 Mirilla de visión en el tanque de filtrado.

Fuente: <http://forum.northernbrewer.com/>

### **Lavado del bagazo:**

El extracto retenido por el bagazo es extraído mediante el lavado con agua caliente. Este proceso se denomina riego o lavado del grano. A este mosto más diluido también se le llama mosto secundario.

El pH del agua del lavado debe ser de 5,8 para evitar la extracción sustancias indeseadas (taninos y compuestos amargos de la cáscara, ácido silícico...). Para reducir el pH del agua de lavado se adiciona comúnmente ácido fosfórico de grado alimentario.

La temperatura del agua de lavado debe ser de 78°C, dado que la  $\alpha$ -amilasa es destruida a 80°C y se necesita para transformar el almidón no disuelto remanente en el bagazo. El agua será añadida en dos o tres tandas y la cantidad total a añadir será la misma en litros que de mosto obtenido tras el primer filtrado (primer mosto).

### **Proceso de filtración del mosto:**

En primer lugar se llena el tanque de filtración de agua de clorada a 78°C justo por encima de la rejilla de filtración y se comienza a transferir la mezcla procedente del depósito de maceración. Una vez termina el trasiego del macerador al tanque de filtración se comienza a recircular el mosto desde la salida inferior (bajo la rejilla filtrante) a través de la bomba hasta la parte superior del tanque. Se controlará la claridad del mosto a través de la mirilla y la recirculación terminará cuando el mosto sea claro. Esta operación tarda aproximadamente unos 45 minutos en total. La velocidad de recirculación será de 20 l/min durante los 2 primeros minutos para lograr arrastrar las partes más gruesas que se hayan colado por debajo de la rejilla filtrante, pasando a ser de 10 l/min el resto del proceso. No se debe modificar esta velocidad o el mosto se enturbiará de nuevo y habrá que volver a comenzar.

Mientras se recircula el mosto, se debe limpiar el depósito de maceración con agua a presión para eliminar cualquier sólido o cascarilla. Cuando el mosto comience a salir con claridad suficiente se tiene que transferir de nuevo al depósito de maceración, que a partir de ese momento pasará a ser el depósito de cocción, por la válvula inferior para evitar salpicaduras y oxigenación. La velocidad a la que se debe transferir el mosto es la misma que la de recirculación.

Cuando la malta vaya asomarse por encima de la superficie del mosto, se debe adicionar el agua del lavado (agua filtrada con el pH de 5,7) dos o tres veces. Se tienen que añadir unos 600 L para una producción de 1000 L. Durante la filtración hay que hacer girar las chuchillas de vez en cuando para evitar que el mosto circule solo por determinadas áreas. Al girar las cuchillas se enturbiará el mosto filtrado y habrá que recircular de nuevo durante unos 5 minutos aproximadamente. El proceso completo de filtración tardará entre 2 y 3 horas.

El filtrado finalizará cuando todo el mosto haya sido transferido al depósito de cocción.

### **2.1.5. La cocción del mosto**

La cocción del mosto es el proceso en el que se consume la mayor cantidad de energía en toda la fabricación del mosto (aproximadamente el 40 % del total de la instalación) seguido de la emisión de vapor de agua y olores a la atmósfera. De esta

manera, la Mejor Técnica Disponible en esta operación debe ser aquella que permita reducir globalmente estos efectos.

La cocción del mosto se puede realizar según tres sistemas:

- Cocción atmosférica
- Cocción a baja presión (0.5 kg/cm<sup>2</sup> aprox.)
- Cocción a alta presión (3 kg/cm<sup>2</sup> aprox.)

### 2.1.5.1. Tipos de cocción

#### Coccion atmosferica:

Este tipo de coccion es tradicionalmente utilizado en España. Consiste en el uso de calderas abiertas por su parte superior que utilizan como medio de agitacion la circulacion por termosifon. En las calderas de este tipo, el mosto hierve con el lúpulo durante hora y media a dos horas, con una tasa de evaporacion del 6-8 %/h. Se han utilizado diseños diferentes de calderas, pero todos ellos presentan un consumo de energia relativamente elevados.

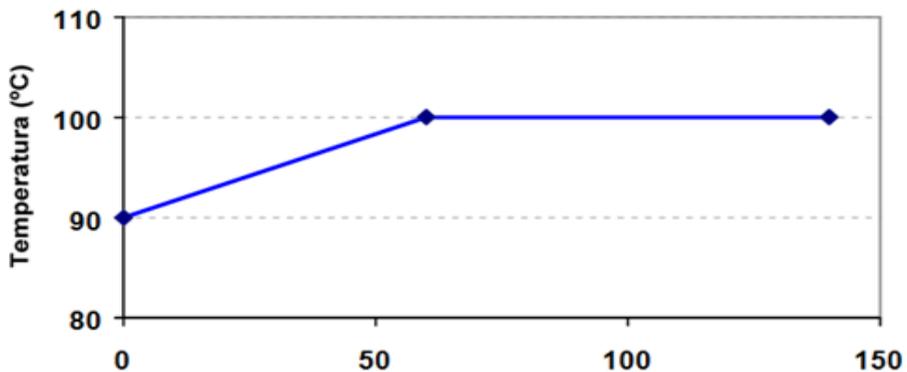


Figura 2-11 Diagrama temperatura-tiempo para el sistema de cocción atmosférica.  
Fuente: S. Duro, 1991.

Un sistema mixto y energeticamente mas eficaz consta de un calentador separado (calandria) por el que circula el mosto dulce. La temperatura de trabajo es mayor, 106-110°C, lo que conlleva una mejor utilizacion del lúpulo (un 15%) y un tiempo menor de coccion, 0,5-1,5 horas. La agitacion la proporcioana la circulacion a traves del calentador externo y se evita la evaporacion excesiva.

### **Cocción a baja presión:**

En los sistemas de coccion a baja presion, el mosto dulce se calienta a presión atmosferica hasta el punto de ebullicion mediante un intercambiador exterior, posteriormente se presuriza la instalación aumentando la temperatura del mosto hasta los 105-112°C durante 10-15 minutos y por ultimo se despresuriza el sistema reduciendose la temperatura del mosto.

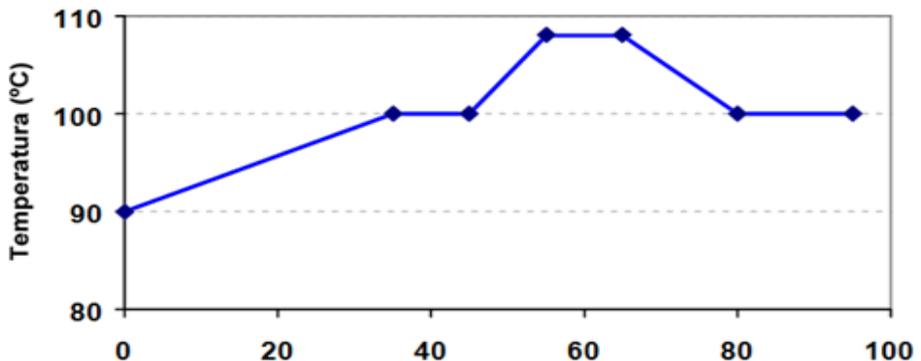


Figura 2-12 Diagrama temperatura-tiempo para el sistema de cocción a baja presión. Fuente: S.Duro, 1991.

El sistema se complementa generalmente con la instalación de intercambiadores de calor que permiten recuperar el calor de los vahos de ebullicion para precalentar el agua que calentará el mosto a la entrada del sistema desde aproximadamente 80°C hasta 96°C.

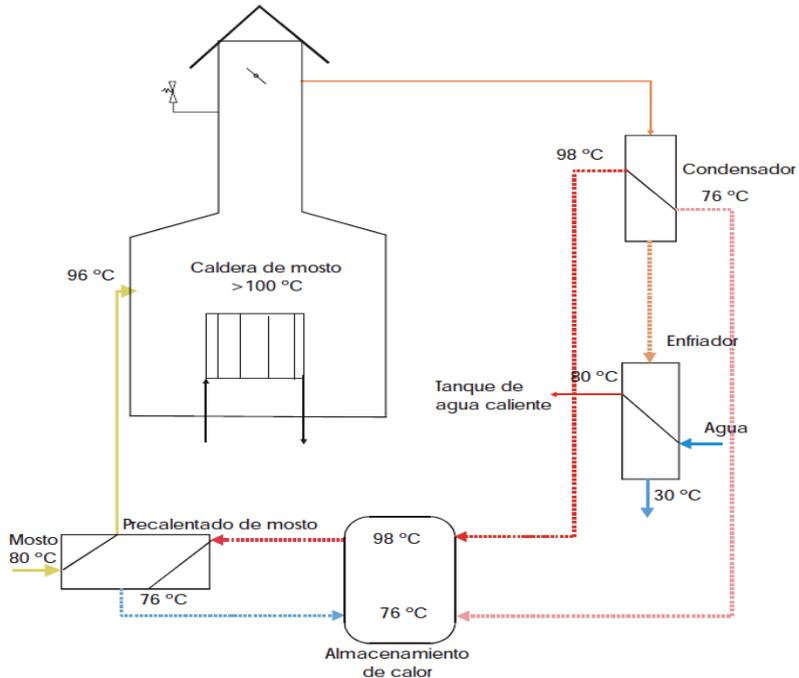


Figura 2-13 Recuperación de calor de los vahos de cocción. Fuente: AINIA, Cerveceros de España.

El sistema a baja presión permite conseguir unos ahorros en vapor del 38% frente a los sistemas atmosféricos, independientemente del sistema de cocción utilizado, el agua utilizada para refrigerar el mosto a la salida de su clarificación se utiliza para precalentar mosto antes de la cocción, con lo que se consigue un importante ahorro energético.

Los sistemas de cocción a baja presión son más eficientes energéticamente que los atmosféricos, sin que ello repercuta en la calidad del mosto (F.J. Sanz, 1991), y permiten la recuperación de los vahos de cocción, aprovechando su calor para incrementar la temperatura del mosto de entrada. Con la condensación de dichos vahos se consigue además reducir las emisiones a la atmósfera de vapor de agua y de compuestos orgánicos volátiles, alguno de los cuales son los causantes de los

olores típicos de la cocción.

En la cocción atmosférica, se pierde como vapor de agua aproximadamente el 10% del volumen del mosto, aunque es posible instalar sistemas de recuperación de vahos o deflectores en chimenea que permiten reducir el consumo de energía y las pérdidas de agua.

Tal como se comenta posteriormente, muchas instalaciones generan suficiente agua caliente durante la fase de enfriamiento del mosto para cubrir sus necesidades, por lo que parte del calor recuperado de los vahos puede que no tenga un uso directo en el propio proceso.

Los sistemas de recompresión (mecánica o térmica) de vapor permiten obtener rendimientos similares a los sistemas de cocción a baja presión con acumulación de energía, aunque con unos costes de inversión mucho mayores.

Item de evaluación	Cocción	
	Atmosférica	A baja presión con acumulación de energía
Consumo aprox. de vapor (Kcal/Kg mosto)	85.2	52.6
Consumo eléctrico		80 kWh/cocción superior
Presión en caldera	Atmosférica	0.5 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura máxima (°C)	100	106
Duración aprox. de la cocción (min.)	90 - 100	<90
Emisión de vahos a la atmósfera	10 % del mosto	6 % del mosto
Recuperación de energía	-	Hasta el 95%
Calidad del mosto	Buena	Buena
Costes	Inversión	
	Mantenimiento	0.1 del coste de inversión
Candidatas a MTD	Inst. existentes	Sí <sup>(*)</sup>
	Inst nuevas	No

(\*) Siempre que dispongan de sistemas de recuperación de vahos o deflectores en chimeneas

Figura 2-14 Comparación entre cocción atmosférica y a baja presión. Fuente: AINIA, Cerveceros de España

### **2.1.6. La separación de precipitados**

Cuando finaliza la ebullición, se obtiene el mosto lupulado (parte líquida) y, como subproducto, la parte sólida que contiene el denominado “lúpulo agotado” y los precipitados, principalmente proteínas coaguladas. Estos sólidos se separan por centrifugación o mediante tanques clarificadores de distintos diseños.

### **2.1.7. El enfriamiento del mosto**

Dado que la levadura sólo puede fermentar a bajas temperaturas, se debe enfriar el mosto caliente lo más rápidamente posible. Durante este proceso el mosto primeramente brillante se enturbia, debido a la formación del trub en frío que debe ser separado. Para una rápida realización de la fermentación se le debe suministrar de forma óptima aire a la levadura, sólo cuando este se encuentre a baja temperatura, de lo contrario se oxidaría el mosto, significando una importante pérdida de calidad de la cerveza final.

#### **Proceso de enfriado y aireación del mosto:**

El mosto que sale por el lateral del whirlpool ya limpio, debe ser enfriado de los 85°C a los que se encuentra hasta la temperatura de fermentación (20°C para ales y 12°C para lagers) en menos de 45 minutos. Para ello, se hará circular a través de un intercambiador de placas de dos fases. Se utilizará agua de red (temperatura entre 8 y 20°C) a través de la primera fase, que permitirá enfriar el mosto hasta 25-35°C aproximadamente y se utilizará agua procedente de un enfriador de agua glicolada (temperatura de 0°C) para alcanzar la temperatura óptima de fermentación. El circuito entre el mosto y el agua refrigerante funcionará a contracorriente para obtener un rendimiento mucho mayor.

El agua procedente de red saldrá por el otro extremo del intercambiador a una temperatura aproximada de 60°C, una vez hecho el intercambio calorífico. Se almacenará en algún depósito para su uso posterior en la limpieza y desinfección de equipos.

En este momento, con el mosto ya enfriado a la temperatura de fermentación, es muy importante airearlo. Esto se consigue a través de un difusor de acero inoxidable instalado en la salida del intercambiador de placas, mediante un

compresor de aire y un filtro para el aire de 0,2 micrones. Es importante que el aire entre en contacto con el mosto en forma de pequeñas burbujas, de ahí el hecho que se necesite un difusor.

Para la transformación del mosto en cerveza, los azúcares contenidos en el mosto deben ser fermentados, por las enzimas de la levadura, a etanol y dióxido de carbono.

Se forman en este proceso subproductos de fermentación, que influyen de forma substancial sobre el sabor, el olor y otras propiedades de valoración de la cerveza. La formación y la degradación parcial de estos productos secundarios están íntimamente ligadas con el metabolismo de la levadura y sólo pueden ser consideradas en conexión con este último. La fermentación y maduración de la cerveza ocurren en muchas fábricas de cerveza, de acuerdo con los procesos denominados clásicos, en la cava de fermentación y en la bodega de maduración. La fermentación y la maduración son llevadas a cabo en tanques cilíndricos.

### **2.1.8. La aireación del mosto y la inoculación de la levadura**

Al inicio de la fermentación, se requiere oxígeno para promover la multiplicación de las levaduras y, como resultado, acelerar el proceso. Por ello, se inyecta aire en la tubería que conduce el mosto lupulado hacia los tanques de fermentación. La inoculación con el cultivo de levaduras se lleva a cabo por esa misma tubería. La levadura puede ser nueva (pura) o recirculada.

### **2.1.9. La fermentación**

La fermentación es uno de los procesos más importantes y complejos en las operaciones de una cervecería. Tradicionalmente la fermentación cervecera es descrita como el proceso en donde los carbohidratos fermentables son transformados en etanol y numerosos subproductos por acción de la levadura.

El mosto lupulado que ha entrado en el depósito de fermentación debe ser sembrado con levadura lo antes posible, la temperatura del mosto en el momento de la inoculación también es importante. Durante las primeras horas que siguen a la inoculación no sucede nada visible en el recipiente. Esta es la fase de latencia del

crecimiento y es una parte integral del ciclo vital de todo microorganismo que se inocula en un medio nutritivo fresco.

La fase de latencia, viene seguido por una fase corta de crecimiento acelerado, que conduce a una fase de crecimiento exponencial. En esta fase en que el crecimiento celular está al nivel mas elevado, las células se multiplican por gemación y producen rápidamente etanol y dióxido de carbono. Se generan considerables cantidades de calor y normalmente es necesaria la refrigeración para mantener la temperatura.

El crecimiento logarítmico normalmente persiste durante 48-60 horas, tras el cual se entra en la fase de crecimiento desacelerado (fase de retardo) antes que las células alcancen la fase estacionaria.

Además de etanol y CO<sub>2</sub> existen otros productos de fermentación minoritarios, tales productos pueden encuadrarse en cuatro categorías principales:

- **Alcoholes combustibles o fusel.**
- **Ácidos.**
- **Esteres.**
- **Aldehídos y cetonas.**

A pesar de su complejidad, la fermentación es dependiente en gran medida de tres parámetros básicos: la composición del mosto (nutrientes para la levadura); la levadura; y las condiciones del proceso (tiempo, temperatura, volumen, presión, forma y tamaño del tanque, agitación y corrientes en el mosto en fermentación). A la salida del fermentador, la cerveza no esta lista aún para su consumo; requiere ciertos tratamientos antes de ser expedida. Una vez la cerveza ha sido fermentada hasta su peso específico final se procede a enfriarla. Esto puede realizarse bien en el tanque de fermentación o después de trasegarla a un recipiente posterior. A la cerveza producida en la fermentación principal se le llama “cerveza verde” y está debe ser madurada o afinada antes de envasarla.

## Fermentation

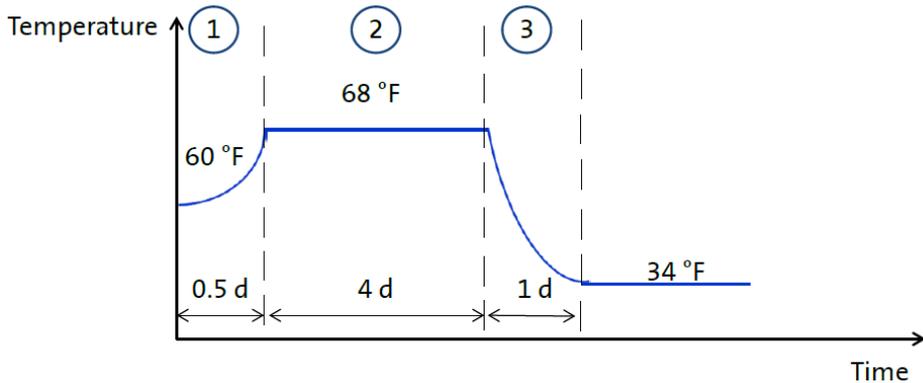


Figura 2-15 Diagrama de distribución de la temperatura en función del tiempo durante el proceso de fermentación. Fuente: Krones, 3-3 F Scheer Thermodynamics for brewers.

### 2.1.9.1. Transformaciones durante la fermentación

El proceso más importante es la fermentación de los azúcares contenidos en el mosto a etanol y dióxido de carbono por parte de la levadura. Las reacciones en la fermentación se pueden dividir en reacciones de fermentación principal y reacciones de maduración, pero las reacciones se solapan entre sí. Es por ello necesario considerar las reacciones de fermentación y de maduración como un proceso continuo.

Juega en esto un papel especial el hecho de que, debido al metabolismo de la levadura, se formen durante la fermentación productos secundarios y que algunos de ellos sean degradados nuevamente de forma parcial. Estos productos secundarios de fermentación determinan de forma decisiva, junto con los componentes del lúpulo, el sabor y el aroma de la cerveza. Por ello, es particularmente importante saber cómo se forman y como se degradan.

### La levadura:

La masa de levadura de color marrón claro está compuesta por muchos millones de

células individuales de levadura, las cuales llevan una vida propia de forma totalmente independiente entre sí. Adquirieron esta vida propia a través de un desarrollo, que duró miles de millones de generaciones y que se encuentra almacenado en sus genes.

Lo que debe hacer la levadura no es determinado por el maestro cervecero, sino que debe manejar los factores que regulan el trabajo de la levadura. No debe olvidarse que los intereses de la célula de levadura son de un tipo totalmente diferente de los del cervecero: mientras el cervecero está particularmente interesado en los productos finales alcohol y CO<sub>2</sub>, justamente estos últimos son venenos celulares, de los cuales debe deshacerse nuevamente la célula de levadura, excretándolos. Para la célula de levadura sólo es importante la ganancia de energía, para poder vivir y formar nueva sustancia celular, bajo la recepción de nutrientes.

De esta forma, solamente pueden lograrse valores óptimos para la fabricación de cerveza si también se crean condiciones óptimas para la célula de levadura. A esto se agrega que la calidad de la cerveza es influenciada de forma decisiva por la levadura y sus productos metabólicos.

A continuación, se describen en un breve resumen los procesos en la levadura durante la fermentación.

Luego del inicio de la fermentación, la célula de levadura debe acostumbrarse primeramente a su nuevo ambiente, el cual en primera instancia tiene un efecto chocante sobre ella: otra temperatura, otro valor pH, elevada concentración de azúcares, etc. Por algunas horas excreta aminoácidos y nucleótidos, pero reabsorbe pronto un parte. Cuanto mayor es la temperatura, tanto más se excreta. Pero el proceso de acostumbramiento dura en total sólo un tiempo breve. Pero antes de que entre en contacto más íntimo con el nuevo medio ambiente, la célula de levadura toma primeramente sustancias de reserva almacenadas, las cuales le suministran la primera energía.

Pero, debido a la oferta sobre enriquecida de azúcares fermentables en el mosto, la célula de levadura comienza luego rápidamente con la degradación del azúcar.

Dado que además también se absorbe oxígeno del aire disuelto, se inicia simultáneamente la respiración, la cual conduce a una gran ganancia de energía en las mitocondrias, que son las centrales de energía de la célula.

Debido a este empuje de energía, le es posible a la levadura no sólo comenzar con la fermentación, sino simultáneamente formar nueva sustancia celular y propagarse

por gemación. Del mosto toma la materia necesaria para la formación de nuevas sustancias celulares. El cervecero se debe encargar únicamente de que estén presentes en el mosto los elementos constituyentes necesarios, por ejemplo:

**Aminoácidos** para la formación de nuevas sustancias celulares (aunque, la levadura puede sintetizar sus propios aminoácidos sin problemas también a partir de otras fuentes de nitrógeno).

**Fosfatos** para el enlace en el ATP (adenosin trifosfato) y en la doble capa de fosfolípidos de la membrana celular (plasmalerna) y membranas en el interior de la célula.

**Ácidos grasos** para la formación de membranas celulares.

**Azúcar** para la constitución de hidratos de carbono de reserva.

**Sales y oligoelementos** (por ejemplo cinc).

**Oxígeno suficiente** para la respiración y una serie de transformaciones.

La mayoría de estas sustancias está presente casi siempre en cantidad suficiente o pueden ser sintetizadas por la levadura misma. Pero en el caso de deficiencia de algunas de las sustancias pueden ocurrir perturbaciones en la fermentación. El cervecero debe considerar esto cuando modifica sus materias primas o cuando sustituye una parte de su carga por adjuntos (sin maltear) o por azúcar, el cual por ejemplo no aporta aminoácidos o sales.

En esta fase extremadamente activa para la célula de levadura, en la que aún hay presentes en el mosto muchos nutrientes en forma de azúcares fermentables, la levadura forma un depósito de hidratos de carbono de reserva (glicógeno y trehalosa), a los efectos de tener una reserva para la ganancia de energía, en el caso de deficiencia de nutrientes.

Esta fase logarítmica es en la fermentación la sección más importante, en la cual desaparece el sabor a mosto y son establecidos los parámetros cualitativos esenciales de la futura cerveza a través de un metabolismo muy diferenciado de la levadura.

Tan pronto como ha sido consumido por respiración el oxígeno suministrado, la levadura debe restringir nuevamente su administración energética de forma total a la glicólisis anaerobia y debe vivir con una ganancia mínima de energía, debida a la fermentación de azúcar a alcohol y CO<sub>2</sub>.

La fase logarítmica llega lentamente a su fin, dado que la oferta de azúcares fermentables ha disminuido fuertemente, no quedando finalmente casi nada más para fermentar. La fermentación ha finalizado. La levadura comienza a flocular, la propagación se ha detenido y el alcohol y el CO<sub>2</sub> estorban progresivamente, como venenos celulares, a la célula de levadura. Dado que las turbulencias en el tanque durante la intensiva fermentación principal han disminuido o finalizado totalmente, las células de levadura descienden lentamente hacia el fondo, donde se las puede cosechar. Viene ahora un periodo malo para la levadura, porque comienza a haber una deficiencia en el suministro de energía, debiendo ella hacer uso de sus propias reservas.

Aún con la baja temperatura de almacenamiento en frío, la levadura necesita, de forma muy reducida, energía para mantener sus procesos vitales. Ella comienza con la degradación de hidratos de carbono de reserva y otras sustancias y excreta cada vez más productos metabólicos. Finalmente, la célula de levadura puede morir. Las enzimas de digestión liberadas comienzan entonces a disolver el interior de la célula, la pared celular es dañada y el contenido celular de la célula en disolución (en autólisis) pasa a la cerveza. De esta manera, son afectados de forma sustancial la espuma y el sabor, se incrementa el valor pH en la cerveza, y las sustancias que entran en solución son medios nutritivos bienvenidos para los contaminantes. Por ello, el maestro cervecero debe encargarse a tiempo y repetidamente de la cosecha de levadura.

Pero también con una cosecha de levadura a tiempo, el cervecero debe continuar ocupándose de la levadura. Ésta debe ser almacenada en frío y de tal manera que pueda desarrollar sus actividades en una nueva fermentación lo antes posible.

Es muy importante crear las condiciones óptimas a la levadura para que pueda realizar la fermentación de forma correcta y poder alcanzar resultados también óptimos en la calidad de la cerveza.

### **La fermentación:**

Esta parte del proceso es denominada también como fría, debido a la temperatura del mosto que sale del enfriador y atraviesa sistema de aireación, dirigiéndose hasta el fermentador donde se produce la fermentación. Todos los errores cometidos durante el proceso de elaboración del mosto comenzarán a notarse a partir de ahora. Es un momento crítico puesto que el mosto puede verse afectado por cualquier tipo de contaminación si no se han limpiado y esterilizado correctamente los equipos. Es

muy importante controlar las temperaturas ideales de fermentación y maduración a partir de este momento para obtener un producto de calidad.

Se introducirá la levadura dentro del tanque de fermentación al inicio del llenado del depósito. La levadura puede ser liofilizada (debe hidratarse previamente) o líquida. Siempre que sea posible se trabajará con levadura líquida puesto que es de mayor calidad.

Es imprescindible que la fermentación sea rápida y potente a la temperatura adecuada. Cuanto mayor sea la temperatura de fermentación más potente será ésta, pero se producirán aromas no deseados. Si por el contrario la fermentación tarda en arrancar, los pocos microorganismos que se hayan colado tendrán la oportunidad de multiplicarse y de cambiar el perfil de aroma y sabor de la cerveza con los nutrientes disponibles y la ausencia de alcohol.

Una vez el fermentador este completamente lleno con el mosto a la temperatura adecuada, se debe controlar con bastante precisión que la temperatura esté siempre al nivel óptimo. En cervezas de tipo lager (baja fermentación), con una levadura en buenas condiciones debería de fermentar un grado plato al día; mientras que en cervezas ale (alta fermentación) pueden llegar a fermentar hasta 4 grados plato al día. Si estos tiempos son mayores, es muy posible que las células queden en suspensión aportando un sabor a levadura que no será posible eliminar, esto ocurrirá también si se utilizan aguas con niveles de calcio por debajo de 50 ppm.

Se puede añadir lúpulo durante la fermentación en el fermentador, metabolizándose una parte de los aceites esenciales con el mosto en fermentación aportando aroma a la cerveza.

Antes de finalizar la fermentación, se debe ajustar una válvula de escape de presión que permita tarar la presión a un nivel determinado para que escape el CO<sub>2</sub> restante. De esta forma, se puede cerrar el tanque para que los últimos azúcares fermentables (entre 1 y 1,5 grados plato) produzcan el CO<sub>2</sub> que quedará finalmente disuelto en la cerveza, ajustando el nivel de carbonatación deseado. Se puede carbonatar también con botellas de CO<sub>2</sub> de calidad alimentaria a través de piedras de difusión de acero inoxidable instaladas en los depósitos.

Cuando la fermentación acaba, se debe eliminar la levadura por la válvula inferior del fermentador cilindrocónico. Esto debe hacerse en varias tandas (20 aproximadamente); hay que eliminar la levadura, dejar que decante de nuevo, eliminarla de nuevo y continuar repitiendo el proceso hasta que salga la cerveza sin casi levadura. Si no se elimina la levadura, ésta comenzará a autorizarse

produciendo aromas y sabores no deseados. La cerveza no tendrá oxígeno disuelto excepto los radicales libres que se hayan unido a otras moléculas durante la producción del mosto. Si se realiza algún trasiego en este punto o durante el embotellado entrara algo de aire en contacto con la cerveza, ésta se oxidaría en cuestión de días o semanas, sobre todo los aromas frutales a lúpulo.

Una cerveza oxidada no tiene el mismo frescor y facilidad de trago que una cerveza de alta calidad.

Se baja la temperatura de la cerveza hasta 14°C en el caso de realizar dryhopping (adición de lúpulo durante la fermentación durante 3-5 días) o hasta la temperatura de maduración (entre 0 y -1,5°C dependiendo del porcentaje de alcohol). Hay que tener en cuenta que dependiendo de la temperatura a la que se encuentre la cerveza, está contendrá más o menos CO<sub>2</sub> disuelto.

### **2.1.10. La maduración**

Se entiende por guarda o maduración las transformaciones que tiene lugar entre el final de la fermentación y la última filtración de la cerveza previa a su envasado. El proceso de maduración podrá durar entre una semana y tres meses dependiendo del estilo de cerveza que se elabore (el tiempo de maduración es diferente en cada tipo de cerveza). Durante este proceso decantarán las proteínas que se formaran por la aplicación de frío. Si la cerveza sigue turbia al final de la maduración significará que existe algún problema de contaminación o de exceso de polifenoles.

En el momento que finalice la maduración de la cerveza, ésta debe ser envasada. Para realizar el trasiego hasta la embotelladora es importante realizar purgas de CO<sub>2</sub> en tanque vacío y con agua las mangueras de trasiego. El trasiego se realizará empujando con CO<sub>2</sub> procedente de una bombona de calidad alimentaria.

Los objetivos de la guarda, en resumen, son:

- **Carbonatación.**
- **Estabilización en frío.**
- **Clarificación.**

### **2.1.11. La filtración y la carbonatación de la cerveza**

Debido a la temperatura de almacenaje, de 0 a 5° C, la mayor parte de la levadura en suspensión y la turbidez, se asienta en el fondo del tanque, si la fermentación ha terminado y el tanque tiene una contrapresión. Aunque ésta es una técnica simple para, reducir turbidez es una técnica tradicionalmente utilizada por muchas cervecerías.

Para acelerar y hacer una labor mas completa de la sedimentación, se pueden añadir agentes de fining al principio del almacenaje.

La eliminación de levadura y otros elementos de turbidez después de la fermentación pueden acelerarse mediante el uso de una centrifuga.

Para lograr una cerveza totalmente translúcida, brillante y estable, es necesario filtrarla. La cerveza recién filtrada posee un contenido bajo de dióxido de carbono, por lo que se le reincorpora el gas almacenado (proveniente de la fermentación) a través de un inyector especial que, a alta presión y baja temperatura, logra fijar el gas en el estado líquido. Con este equipo, se regula la cantidad de gas que se desea adicionar, la cual depende del gusto de los consumidores.

### **2.1.12. El llenado, la pasteurización y el envasado**

La cerveza filtrada y carbonatada se deja en estanques cerrados; entre el líquido y la tapa se encuentra un espacio con dióxido de carbono gaseoso, que crea una determinada presión sobre la bebida y así, ayuda a mantener la concentración del gas disuelto. Luego, se traslada al departamento de llenado para ser envasada en botellas, latas o barriles. Las cervezas que se envasan no son totalmente estériles: posee una pequeña cantidad de microorganismos que pueden producir el deterioro del producto envasado. Para evitarlo y alargar su vida útil, la cerveza envasada se pasteuriza.

#### **Estabilización microbiológica**

La estabilización microbiológica de la cerveza se puede realizar antes o después del envasado, lo que condiciona las tecnologías a utilizar.

Los principales efectos medioambientales de esta operación son el consumo energético (energía térmica en el caso de pasteurización y eléctrica en el caso de

microfiltración), el consumo de agua y la generación de aguas residuales en el caso de los tratamientos térmicos.

### **-Microfiltración:**

La estabilización microbiológica de la cerveza por filtración tiene las siguientes ventajas:

-La cerveza se obtiene con mayor calidad, ya que no sufre ningún tratamiento térmico.

-Menor consumo de agua en el caso de pasteurización.

-El consumo energético menor.

Como desventaja presenta que necesita un personal cualificado para manejar dicho equipo.

### **-Pasteurización flash:**

Algunas de las ventajas que presenta la pasteurización flash son:

-Alta eficiencia energética si se recupera el calor de la cerveza ya pasteurizada para precalentar la cerveza entrante.

-No precisa personal altamente cualificado para su manejo.

## **Estabilización microbiológica después del envasado**

Para esta operación se utilizan de forma generalizada los túneles de pasteurización. En los túneles de pasteurización los envases se calientan gradualmente hasta la temperatura de pasteurización enfriándose posteriormente también de forma gradual hasta una temperatura aproximada de 30-35°C.

La mejor técnica disponible en esta operación es el establecimiento de sistemas de optimización energética mediante recirculación del agua de los baños del túnel desde los de enfriamiento a calentamiento y viceversa.

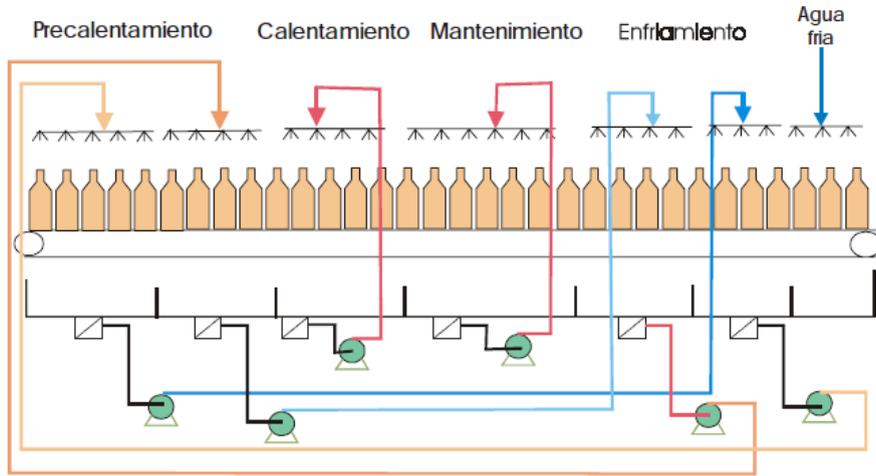


Figura 2-16 Túnel de pasteurización con recirculación de agua. Fuente: AINIA, Cerveceros de España

El número de regeneraciones a realizar dependerá del balance económico entre el coste de instalación y mantenimiento y los ahorros de agua y energía que se pueden conseguir.

## 2.2. Vision general del uso de la energía

Los procesos de la cervecera son relativamente intensivos de energía eléctrica y térmica, y el objetivo para cada empresa cervecera debe ser su objetivo el desarrollo de un proceso sostenible con consumo de energía eficiente para lograr ahorros en los costos de combustible y energía. El coste típico de energía equivale a un 3% y 8% del presupuesto general de una cervecera, dependiendo del tamaño de la cervecera y otras variables. La energía térmica se utiliza para elevar el vapor en las calderas, la ebullición del mosto y el calentamiento del agua de la cervecera, y en la sala de embotellado, el proceso de refrigeración es típicamente el mayor consumidor individual de energía eléctrica. La planta de embotellado y la planta de tratamiento de aguas residuales, tiene una demanda de electricidad sustancial. Una cervecera bien administrada suele utilizar de 8 a 12 kWh de electricidad, 5 hL de agua y 150 MJ de energía de combustible por Hectolitro de cerveza producida. Para ilustrar, un MJ es igual a la energía contenida aproximadamente en un pie cúbico de

gas natural, o la energía consumida por una bombilla de 100 W durante casi tres horas, o un motor eléctrico de una potencia que funcione durante unos 20 min. El uso específico de energía de una cervecería está fuertemente influenciado por los sistemas de utilidad y el diseño del proceso; Sin embargo, las variaciones específicas de la instalación pueden surgir de las diferencias en la receta del producto y el tipo de embalaje, la temperatura entrante del agua a la cerveza de la cervecería y variaciones climáticas.

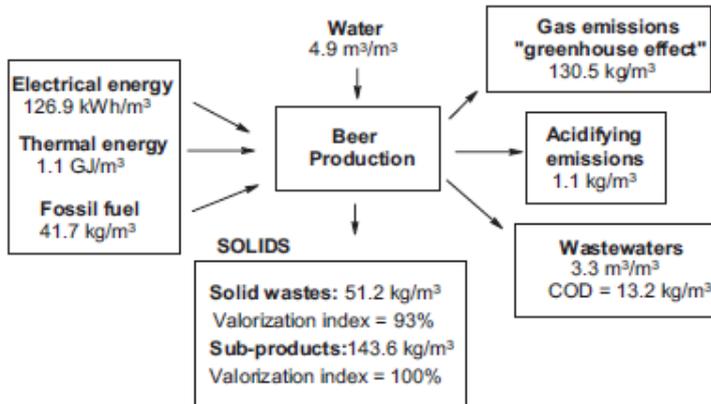


Figura 2-17 Balance de masa aplicado a las cervecías Unicer SA, representados en valores por m<sup>3</sup> de cerveza producida. Fuente: Abass A. Olajire, The brewing industry and environmental challenges.

El gas natural y el carbón representan alrededor del 60% del total Energía utilizada por la industria en bebidas de malta. Estos combustibles se utilizan principalmente como insumos en las calderas para producir vapor para diversos procesos y para la generación de electricidad in situ.

Otros usos incluyen usos directos del proceso, tales como calentamiento de procesos, enfriamiento, refrigeración y accionamiento de la máquina, y procesos como la calefacción de la instalación.



Figura 2-18 Demanda eléctrica de una cervecería(%). Fuente: Systems supporting production engineering, Review of problems and solutions, 2015, No.1(10).



Figura 2-19 Demanda de calor y frio (térmica)en una cervecería(%). Fuente: Systems supporting production engineering, Review of problems and solutions, 2015, No.1(10).

La importancia relativa de los costes de la electricidad y la alta demanda de vapor en el sector cervecero, impulsó la inversión en la generación de electricidad en las instalaciones de producción de cerveza. La electricidad cogenerada (la producción de calor y energía, también llamada combinación de calor y electricidad o CHP) en cervecías alemanas en 1994 fue de 644 millones de kWh. La contabilidad para todos los usos de la electricidad (demanda neta), electricidad cogenerada representa el 22% de la electricidad total utilizada en el emplazamiento. Esta cuota de la

electricidad cogenerada es relativamente alta en comparación con los usos más grandes de la electricidad en las máquinas, accionamientos para el uso de bombas, aire comprimido, equipos de cervecería, y enfriamiento del proceso.

En la siguiente tabla se identifica el uso de energía para procesos específicos de cervecería basado en encuestas realizadas por el Servicio de Apoyo a la Tecnología Energética (ETSU) en el Reino Unido para una cervecería Kegging. Como indica la tabla, la gran mayoría de la energía térmica es utilizada en las operaciones de elaboración y pasteurización, mientras que el consumo es más uniforme dividido entre la fermentación, el acondicionamiento de la cerveza, el espacio y los servicios públicos.

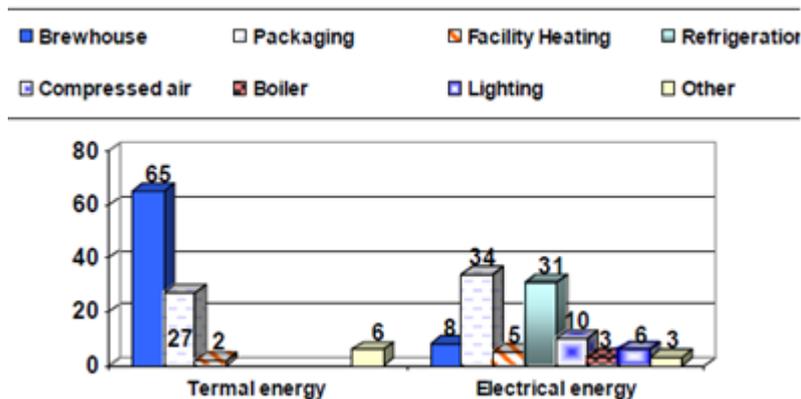


Figura 2-20 Porcentajes de energía aportados en diversos procesos en la cervecería para el año 2012. Fuente: L. XHAGOLLI, J. MARKU Efficient use of energy and resource.

Las dos siguientes tablas muestran los rangos de valores usuales de los consumos y producciones de una instalacion de produccion de cerveza en Europa, extraido de publicaciones tecnicas referentes.

Tabla 2-2 Puntos de referencia para las cervecerías europeas. Fuente: Systems supporting production engineering, Review of problems and solutions, 2015, No.1(10).

Parámetros	Por barril	Por hectolitro
<b>Consumo de agua dulce</b>	3,7-4,7 bbl	3,7-4,7 hL
<b>Consumo de energía térmica</b>	28,2-39,3 kWh	23,6-33 kWh
<b>Consumo de energía eléctrica</b>	8,9-13,7 kWh	7,5-11,5 kWh

Tabla 2-3 Consumo de energia en la cerveceria segun se publica en el documento de referencia de mejores técnicas disponibles. Fuente: Systems supporting production engineering, Review of problems and solutions, 2015, No.1(10).

Consumidor de energía	Energía eléctrica		Energía termica	
	kWh/hL	kWh/bbl	kWh/hL	kWh/bbl
<b>Producción de mosto en cervecería</b>	0,84	1,0	10,2	12,2
<b>Producción de mosto (%)</b>	10,4	10,4	36	36
<b>Consumo total en cervecería</b>	8,1	9,7	28,3	33,7

Tabla 2-4 Distribución de temperaturas de los diferentes procesos de elaboración de la cerveza, en grados celsius.

<b>Proceso</b>	<b>Rango de temperaturas (°C)</b>
<b>1. Molienda</b>	(25-35)
<b>2. Maceración</b>	(10-100)
<b>3. Filtración del mosto</b>	(78-80)
<b>4. Ebullición del mosto</b>	(90-112)
<b>5. Separación de precipitados</b>	(90-85)
<b>6. Enfriamiento</b>	(85-12)
<b>7. Inoculación de la levadura</b>	(20-12)
<b>8. Fermentación</b>	(20-0)
<b>9. Maduración</b>	(5-0)
<b>10. Filtración</b>	(5-0)
<b>11. Envasado</b>	(60-20)

# 3. INCLUSIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN EL PROCESO

---

## 3.1. Introducción

El objetivo de este apartado consiste en realizar un estudio donde haremos un análisis sobre la aplicación de la energía solar termica en uno de los procesos de la elaboración de la cerveza, para intentar así, conseguir un menor consumo de energía térmica por parte de la fabrica de cerveza y mejorar de esta forma su rendimiento.

## 3.2. Aplicación al proceso de envasado

### 3.2.1. El envasado

Analizando y viendo los consumos termicos de todos los procesos relacionados con la produccion de cerveza, hemos visto anteriormente que alrededor del 65% corresponden a los procesos de la propia fábrica. Dentro de esos procesos, uno de los mas importantes, y con un mayor consumo de energía térmica, es el proceso de envasado (30%).

Es verdad que a día de hoy, por lo general, todas las fábricas ya disponen de ciertas medidas de ahorro de energia en este proceso. Como por ejemplo la microfiltración, la pausterizacion flash y la recirculación del agua de los baños del tunel desde los de enfriamiento a calentamiento y viceversa.

Aun así, como es un proceso que conlleva el mayor consumo termico de energia y la idea de este proyecto es el estudio por un lado de esta demanda termica y del uso

o aplicación de la energía solar para reducir la dependencia de los combustibles, se ha obtenido por este proceso.

### 3.2.2. Introducción

En primer lugar, antes de comenzar con nuestro dimensionado, tendremos en cuenta que al tratarse del proceso de envasado, trabajaremos con temperaturas que se encuentran en un intervalo de unos (60-20)°C.

#### 3.2.2.1. Captador solar plano

Un **captador solar plano** es el tipo más habitual de colector solar. Es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica de baja temperatura para usos domésticos o comerciales, calefacción, agua caliente, climatización de piscinas e industria.

### 3.2.3. Dimensionamiento

Como se ha comentado anteriormente, la idea será la utilización de energía solar térmica a baja temperatura y la aplicaremos al proceso de envasado. Haremos un pequeño dimensionado de carácter general de la planta.

#### 3.2.3.1. Datos de partida

Como punto de partida tomaremos una fábrica de cerveza, situada en España, Sevilla, tomando como punto de diseño el momento en el que hay mayor radiación, es decir, en verano, ya que si se toma otro punto de diseño la instalación quedaría sobredimensionada.

Tabla 3-1 Datos de partida

Datos de partida	Valores
<b>Energía demandada, cervecería</b>	4350 MWh/mes
<b>Energía demandada, microcervecería</b>	732 MWh/mes

<b>Porcentaje energía térmica del proceso</b>	65%
<b>Porcentaje energía térmica del envasado</b>	30%
<b>Demanda térmica del proceso de envasado, cervecería</b>	848,25 MWh/mes
<b>Demanda térmica del proceso de envasado, microcervecería</b>	142,64 MWh/mes
<b>Fluido de trabajo</b>	Agua
<b>Tipo de captador</b>	Termicol T20PS
<b>Superficie bruta</b>	$2 m^2$
<b>Largo</b>	2,13 m
<b>Ancho</b>	0,97 m
<b><math>Fr(\tau\alpha)_n</math></b>	0,8
<b>Factor lineal de pérdidas</b>	$6,80 W/m^2K$
<b>Efectividad intercambiador</b>	0,8
<b>Número de captadores en serie</b>	2
<b>Ángulo incidencia radiación difusa</b>	$60^\circ$
<b>Ángulo incidencia radiación Directa</b>	$15^\circ$
<b>Radiación difusa</b>	30%

<b>Radiación Directa</b>	70%
<b>Localidad/Día/hora</b>	Sevilla/10 Junio/12:00 A.M.

### 3.2.3.2. Método f-Chart

Para el dimensionado de la instalación de energía solar térmica se utilizará el método de las curvas f (f-Chart), que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo período de tiempo. Ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, solo ha de aplicarse para estimaciones de tipo mensual. Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos. Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utilizar la simulación de funcionamiento mediante ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un dilatado período de tiempo.

### 3.2.3.3. Correcciones

Antes de calcular el porcentaje de demanda cubierta mediante el método f-Chart, tendremos que aplicar ciertas correcciones necesarias tanto al factor lineal de pérdidas como al  $Fr(\tau\alpha)_n$

#### Corrección por agrupación:

Cuando tenemos más de un captador en serie, será necesario corregir por agrupación.

$$G = \frac{M_p * N}{At}; \quad K = \frac{Fr * U_L}{G * cp}; \quad C_A = \frac{1 - (1 - K)^N}{N * K}$$

Se ha supuesto que  $M_p$  tiene valor de unos 30 kg/s según informaciones sacadas de ciertas cervecerías que trabajaban con esos gastos aproximados.

Despejando ambas ecuaciones obtenemos:  $K = 0,0004082$      $C_A = 0,9998$

$$Fr * U_L = 6,799 \text{ W/m}^2\text{K} \quad Fr(\tau\alpha)_n = 0,7998$$

-En este caso concreto se ha supuesto que el número de paneles en paralelo es de dos, para sacar unos valores ( $At=4*2,13*N_{\text{paralelo}}=4*2,13*2=17,04 \text{ m}^2$ ).

### Corrección por intercambiador:

Cuando tenemos un intercambiador, éste nos proporcionará unas pérdidas que debemos tener en cuenta:

$$C_I = \left[ 1 + \frac{Fr * U_L * At}{M_p * C_{pp}} * \left( \frac{M_p * C_{pp}}{\varepsilon * C_{min}} - 1 \right) \right]^{-1}$$

Hemos supuesto que  $C_{min} \sim 0,8 * M_p * C_{pp}$

Despejando obtenemos:  $C_I = 0,9995$      $Fr * U_L = 6,795 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

$$Fr(\tau\alpha)_n = 0,7994$$

-En este caso concreto se ha supuesto que el número de paneles en paralelo es de dos, para sacar unos valores ( $At=4*2,13*N_{\text{paralelo}}=4*2,13*2=17,04 \text{ m}^2$ ).

### Corrección por el ángulo de incidencia:

También es necesario tener en cuenta los diferentes angulos de incidencia ya que no toda la radiación es directa sino tambien habrá parte que sea radiación difusa y debemos tenerlo en cuenta:

$$K_{\tau\alpha} = 1 - b_0 * \left( \frac{1}{\cos\theta} - 1 \right)$$

$$Fr(\tau\alpha)'_n = Fr(\tau\alpha)_n * [K_{\tau\alpha D} * D + K_{\tau\alpha d} * d]$$

Considerando  $b_0 \sim 0,1$  obtenemos:  $Fr(\tau\alpha)'_n = 0,7734$

### 3.2.3.4. Porcentaje de demanda cubierta

$$F = 1,029 * Y - 0,065 * X - 0,245 * Y^2 + 0,0018 * X^2 + 0,0215 * Y^3$$

$$Y = \frac{0,96 * Fr(\tau\alpha)'_n * H * N * At}{L}; \quad X' = \frac{Fr * U_L * At * (100 - T_{am}) * \Delta t}{L}$$

La radiación global media mensual en base diaria en nuestro caso, siendo Sevilla en junio es de  $25,9 \frac{MJ}{m^2 dia}$  y la  $T_{am}$  es de  $23,4 ^\circ C$

### Corrección por consumo de agua caliente sanitaria:

$$\frac{X'}{X} = \frac{11,6 + 1,18 * T_{ac} + 3,86 * T_{af} - 2,32 * T_{am}}{(100 - T_{am})}$$

En nuestro caso hemos tomado:  $T_{ac} = 60 ^\circ C$   $T_{af} = 18 ^\circ C$

Una vez ya tenemos nuestros datos y nuestros cálculos hechos, se muestran a continuación dos tablas donde se muestra en función del número de hileras (paneles) en paralelo, el valor del porcentaje de demanda cubierta (F), primero en el caso de una cervecería y el segundo caso, donde se trata de una microcervecería.

-Antes se ha tomado el valor del número de paneles en paralelo como dos para dar unos valores pero en esta tabla, ya se ha calculado cada uno de los casos posibles en función del número de paneles en paralelo, utilizando el programa EES.

Tabla 3-2 Porcentaje de demanda cubierta en función del número de paneles en paralelo en el caso de una cervecería.

Número de paneles en paralelo	Área total de captación ( $m^2$ )	F(%)
5	42,60	0,67
10	85,20	1,34
15	127,80	2,00
20	170,40	2,65
30	255,60	3,94
40	340,80	5,21
60	511,20	7,75

Tabla 3-3 Porcentaje de demanda cubierta en función del número de paneles en paralelo en el caso de una microcervecería.

Número de paneles en paralelo	Área total de captación ( $m^2$ )	F(%)
5	42,60	3,95
10	85,20	7,77
15	127,80	11,49
20	170,40	15,09
30	255,60	21,96
40	340,80	28,41
60	511,20	40,39

# 4. CONCLUSIONES

---

La energía constituye un sector clave hoy en día, ya sea en cualquier sector como en cualquier rama de la industria.

La cerveza ha tenido un papel muy importante dentro de la historia, la cual se ha visto utilizada de muchas maneras tanto en el ámbito religioso como bélico y siempre ha tenido un cierto papel dentro de la sociedad. A lo largo de la historia ha ido extendiéndose de cultura en cultura hasta que prácticamente todas han obtenido los conocimientos suficientes para cultivarla y producirla.

El sector cervecero es un sector que genera una gran cantidad de ganancias cada año y produce grandes cantidades de cerveza. Aunque algunos países sufrieron algunas bajadas en algún punto de su historia, ya fuese por leyes que la prohibieran o por la crisis de hace unos años, la tendencia de este sector es el de aumentar año a año. Lo mismo ocurre con el número de cervecerías y sobre todo en estos últimos años, con las microcervecerías o cervecerías artesanales, que cada vez tienen un mayor peso dentro del sector, aunque a día de hoy, todavía siguen ocupando un porcentaje muy pequeño en comparación con las grandes cervecerías.

El proceso industrial de elaboración de la cerveza es un proceso amplio y complejo. Se necesita de un control muy riguroso por parte del cervecero de cada uno de los procesos que conforman la elaboración de la cerveza. Los procesos que se llevan a cabo son intensos tanto en energía eléctrica como en térmica, por lo tanto será muy importante para cada empresa cervecera el desarrollo de procesos sostenibles que permitan un consumo de energía eficiente para lograr ahorros en los costes de combustible y de energía. Una cervecería bien administrada puede utilizar de 8 a 12 kWh de electricidad, 5 hL de agua y 150 MJ de energía de combustible por hectolitro de cerveza producida. Aunque dependiendo de cada fábrica de cerveza los consumos energéticos serán diferentes, se han realizado unos estándares que los sitúan en los siguientes rangos:

Tabla 4-1 Puntos de referencia para las cervecerías europeas. Fuente: Systems supporting production engineering, Review of problems and solutions, 2015, No.1(10).

Parámetros	Por barril	Por hectolitro
<b>Consumo de energía térmica</b>	28,2-39,3 kWh	23,6-33 kWh
<b>Consumo de energía eléctrica</b>	8,9-13,7 kWh	7,5-11,5 kWh

Como el proceso de elaboración de cerveza es un proceso consumidor de gran cantidad de energía y combustibles, resulta interesante la aplicación de una fuente de energía renovable que redujera el gran peso de los combustibles fósiles y optar así por una fuente de energía más limpia, en este caso, la energía solar térmica.

De cara a la aplicación de la energía solar térmica se tomó el proceso de envasado, ya que es el proceso mas importante en consumo térmico de energía (del 65% correspondiente a la fabricación, el 30% es del envasado).

Se realizó un estudio utilizando energía solar térmica a baja temperatura y utilizando la tecnología del captador solar plano, junto con un pequeño dimensionado de una planta y la obtención del factor demanda mediante el método f-Chart.

Después de realizar las correspondientes correcciones y en vista de los resultados, podemos ver que en el caso de una gran cervecería, el factor demanda apenas alcanza un 7.75%, para unos 60 paneles en paralelo, por lo que este método no es factible en este caso. En cambio en cervecerías más pequeñas, se obtuvo un valor del factor demanda de 40.39%, para los 60 paneles en paralelo, por lo que quizás en este caso si fuese más interesante.

# REFERENCIAS

---

- [1] AINIA, cerveceros de España,  
<http://www.prtr-es.es/data/images/La%20industria%20cervecera-74F8271308C1B002.pdf>
- [2] Abass A. Olajire, Article, Journal of Cleaner Production, The brewing industry and environmental challenges.
- [3] Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, Environmental Energy Technologies Division, Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries, September 2003.
- [4] David A. Chamorro González, Universidad Austral de Chile, Escuela de ingeniería Civil Industrial,  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bpmfcic448e/doc/bpmfcic448e.pdf>
- [5] Dr. Ludwig Scheller, Dr. Rudolf Michel, Udo Funk, Efficient Use of Energy in the Brewhouse, MBAA TQ, vol.45, no.3, pp.263-267, 2008.
- [6] FASOSTAT, Countries by Beer Production,  
<http://www.jetpunk.com/data/world/countries-by-beer-production>
- [7] Fred M Scheer, Kronos Inc, Thermal Process Engineering for Brewers, Basics in Theory and Practice, 24 Octubre, 2014.
- [8] Githuka, Charles Muigai, University of Nairobi, A Study of Thermal Energy Use At a Brewing Plant with Emphasis on Wort Boiling Process, May 2012.

- [9] Hernandez Alicia, Microbiología industrial, 2003
- [10] J. KAŹMIERCZAK, Benefits of MCHP XRGI use in the Brewing Industry, Systems Supporting Production Engineering, Review of problems and solutions, no.1 (10), 2015.
- [11] Junta de Andalucía, Guía de apoyo para la notificación de las emisiones en la industria cervecera, epígrafes 8.b.ii, Diciembre, 2016.
- [12] L. Xhagolli, J. Marku, Scientific paper, Efficient use of energy and resource through conservation and recovery in breweries.
- [13] Ronnie Willaert, Vrije Universiteit Brussel, Section V. Beverages: The Beer Brewing Process: Wort Production and Beer Fermentation, chapter August 2006.
- [14] Rubén Sancho Saurina, Universitat Politècnica de catalunya, Escola universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona, [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76575/02\\_Memoria.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76575/02_Memoria.pdf)
- [15] The Brewers of Europe, Beer Statistics, November, 2016  
[http://www.brewersofeurope.eu/uploads/mycms-files/documents/publications/2016/stats\\_2016\\_web.pdf](http://www.brewersofeurope.eu/uploads/mycms-files/documents/publications/2016/stats_2016_web.pdf)
- [16] Xavier Garcia Barber, Universitat de Barcelona, Los orígenes y la implantación de la industria cervecera en España, siglo XVI-1913

# Glosario

---

Afrecho/constituyentes insolubles	Es el salvado procedente de la molienda de los cereales cuya cáscara es demenzada en el mencionado proceso.
Almidón	Macromolécula compuesta de dos polisacáridos, la amilosa y la amilopectina.
Amilasas	Enzima hidrolasa que tiene la función de catalizar la reacción de hidrólisis de los enlaces 1-4 del componente $\alpha$ -amilasa al digerir el glucógeno y el almidón para formar azúcares simples.
Aminoácidos	Molécula orgánica con un grupo amino y un grupo carboxilo.
Anilopectina	Es un polisacárido que se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular parecida a la de un árbol.
Agua de clorada	Eliminación del cloro del agua.
Bagazo	Residuo de materia después de extraído de su jugo.
Calandria	Tipo de intercambiador de calor
Cocción	Poner algún tipo de alimento a hervir o a una alta temperatura con el fin de que éste adquiera ciertas propiedades.
Clarificador	Máquina que se utiliza para separar sólidos de un líquido por medio del fenómeno físico de la gravedad y los movimientos de agua haciendo que los sólidos floten o se hundan según su densidad.
Carbohidratos	Biomoléculas compuestas por carbono, hidrógeno y

Carbonatación	oxígeno, cuyas principales funciones en los seres vivos son el brindar energía inmediata y estructural.
Cerveza oxidada	Disolución de un gas (CO <sub>2</sub> ) en un líquido (cerveza). Defecto de la cerveza que se puede producir debido a la exposición del mosto ya fermentado al oxígeno desarrollando distintos sabores.
Cerveza de guarda	Cervezas envejecidas. Se conserva la cerveza al igual que el vino con el fin de conseguir una cerveza de mayor calidad.
Decocción	Proceso en el cual se realiza algún tipo de bebida mediante un líquido filtrado mientras estaba en ebullición.
Dextrinas	Grupo de oligosacáridos de poco peso molecular producidas por la hidrólisis del almidón.
Disolución química	Mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias puras que no reaccionan entre sí, cuyos componentes se encuentran en proporciones variables.
Enzimas	Moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles.
Extracto	Sustancia muy concentrada que se obtiene de una planta, semilla u otra cosa por diversos procedimientos.
Endospermo	Tejido nutricional formado en el saco embrionario de las plantas con semilla.
Fitina	Sal mixta de calcio y magnesio de ácido fítico.
Fosfatos	Son las sales o los ésteres del ácido fosfórico.
Glucano	Tipo de polisacáridos formados específicamente por unidades monoméricas del monosacárido D-glucosa, unidos entre sí por medio de enlaces glicosídicos.
Glucosa	Forma de azúcar que se encuentra libre en las frutas y la miel. $C_6H_{12}O_6$

Grado plato	Cantidad en gramos de extracto seco primitivo del mosto original de la cerveza contenido en 100 gramos de dicho mosto a la temperatura de 20 grados centígrados.
Hidrólisis enzimática	Hidrólisis que se produce mediante un grupo de enzimas llamadas hidrolasas.
Inositol	Compuesto orgánico de la familia de los polioles o polialcoholes presente en las membranas plasmáticas y en otras estructuras de productos naturales.
Latencia	Tiempo que pasa desde que se produce algun tipo de estímulo hasta su respuesta.
Levadura	Organismos eucariotas clasificados como hongos ya sea ascomicetos o basidiomicetos microscópicos con forma unicelular.
Ley seca	Controvertida medida que han aplicado ciertos Estados durante la historia, consistente en la ilegalización de la fabricación, transporte, importación, exportación y la venta de alcohol.
Mosto	La harina molida de la malta.
Maltosa	Disacárido formado por dos glucosas unidas por un enlace glucosídico producido entre el oxígeno del primer carbono anomérico de una glucosa y el oxígeno perteneciente al cuarto carbono de la otra.
Maltotriosa	Carbohidrato, en particular un oligosacárido, extraído principalmente de los azúcares de la maltosa en su descomposición por medio de la fermentación por levadura.
Microcervecera	Cervecera que produce una cantidad muy limitada de cerveza.
Microfiltración	Proceso de separación física en el cual el tamaño de los poros de una membrana determina hasta que punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos.
Numancia	Nombre de una desaparecida población celtíbera

	situada sobre el cerro de la muela, en Garra.
Oligoelementos	Bioelementos presentes en pequeñas cantidades en los seres vivos y tanto su ausencia como su exceso puede ser perjudicial para el organismo, llegando a ser patológicos.
Proteínas	Biomoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos.
Pasterización/Pausterización	Proceso térmico realizado en líquidos con el objetivo de reducir la presencia de agentes patógenos que puedan contener.
Pausterización flash	Proceso térmico aplicado a ciertos alimentos con el objeto de reducir las poblaciones de bacterias.
Sustratos	Molécula sobre la cual actúa una enzima.
Sedimentación	Proceso por el cual los materiales transportados por distintos agentes y procedentes de la erosión y la meteorización de las rocas son depositados, pasando a ser sedimentos.
Sustancias albuminoides	Cualquier sustancia protoplásmica nitrogenada originada en las aminas.
Sidra de cebada	Bebida alcohólica de baja graduación fabricada con el jugo fermentado de la manzana y cebada.
Tuneles de Pausterización	Máquina que se suele utilizar en las fábricas, para la pasterización en masa del producto a producir. Mediante una cinta el producto es transportado a lo largo de una especie de tunel donde se producen los diferentes calentamientos y enfriamientos del producto.
Vahos de cocción	Vapor que emana de la cocción.
Whirlpool	Proceso donde se remueve el mosto de forma circular para crear un remolino justo después de la cocción.

