

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

Implantación de una fábrica de cerveza artesanal

Autor: Luis Miranda Burguete

Tutor: Emilia Ota Salaverri

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

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Implantación de una fábrica de cerveza artesanal

Autor:
Luis Miranda Burguete

Tutor:
Emilia Ota Salaverri
Profesora titular

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Proyecto Fin de Carrera: Implantación de una fábrica de cerveza artesanal

Autor: Luis Miranda Burguete

Tutor: Emilia Otal Salaverri

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mi Auro

Agradecimientos

Este trabajo significa un final de una etapa de aprendizaje, amistad, cariño, y sobre todo ilusión. 5 años y medio llenos de momentos alegres y buenos, pero también con algunas dudas y angustias. Ha llegado el momento de ponerle fin a lo que a día de hoy puedo decir que ha sido un sumatorio de grandes experiencias, cuyo resultado no ha sido menos que muy satisfactorio.

Todo esto no habría sido posible sin la ayuda de mi madre y mi padre, quienes me han apoyado a seguir y creer en mí mismo desde el primer día que entré en la universidad. Como no, gran parte de la culpa la han tenido los profesores de la facultad que me he encontrado en el camino, ya que sin su trabajo yo no habría logrado terminar esta etapa, la cual siempre recordaré como una oportunidad académica, y sobre todo personal.

Por último, quiero darle las gracias a Aurora, mi novia y compañera de vida desde que la conocí el primer curso de carrera, ya que ha sido ella la que me ha tendido el hombro y me ha escuchado en todos los malos momentos, pero sobre todo y para mí más importante, la que se ha alegrado, más que yo si cabe, por mis aprobados, éxitos y momentos de felicidad.

El sector cervecero artesanal ha ido creciendo a pasos agigantados desde su nacimiento en los años 70 en Estados Unidos. En España, el interés por la comercialización de la cerveza de producción casera comenzó en el nuevo milenio, con un crecimiento marcado fundamentalmente por la fuerte crisis económica dada a partir de 2007.

Desde entonces, la industria ha buscado un cambio en la fabricación del producto, teniendo cada vez mayor preocupación por la innovación y la calidad. Son cada vez más las pequeñas empresas cuyo principal objetivo no es la globalización de la marca o la maximización de sus ventas, sino satisfacer la demanda de un cliente exigente, capaz de desembolsar más dinero con tal de obtener un producto más natural, de mayor complejidad, y por supuesto, de mayor calidad.

El principal objetivo de este proyecto es realizar la ingeniería básica de una planta de producción de cerveza artesana, contextualizando el sector en nuestro país, así como su proceso de fabricación y los cálculos de materia prima y principales equipos involucrados para la producción de una cerveza que se diferencie del resto por su gusto y aroma.

Abstract

The craft beer industry has been growing by leaps and bounds since its inception in the 1970s in the United States. In Spain, interest in commercializing artisan beer began in the new millennium, with a significant growth mainly due to the strong economic crisis started in 2007.

Since then, the industry has sought change in product manufacturing, with increasing concern for innovation and quality. A growing number of small companies no longer aim to globalize the brand or maximize their sales, but are instead focused on satisfying an increasingly demanding customer, who is willing to spend more money in order to obtain a more natural, and of course, higher quality product.

The main objective of this project is to carry out the basic engineering of a craft beer brewery, contextualizing the sector in our country, as well as its manufacturing process and the estimation of raw materials and the main equipment involved in the production of a beer's taste and aroma make it stand out from the rest.

Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras	xiii
I. MEMORIA DESCRIPTIVA	1
1 Objetivos y alcance del proyecto	1
2 Introducción	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Definición de cerveza artesanal	3
2.3. Estudio del mercado cervecero artesanal	4
2.4. La fermentación	7
2.5. Tipos de cerveza	11
3 Normativa jurídica aplicable	17
4 Descripción de la fábrica	21
4.1. Introducción	21
4.2. Situación	22
4.3. Justificación	23
4.4. Distribución funcional	23
5 Materias primas empleadas	25
5.1. Cebada	25
5.2. Agua	27
5.3. Lúpulo	29
5.4. Levadura	31
5.5. Adjuntos	34
6 El proceso de fabricación	37
6.1. Esquema general de producción	37
6.2. Malteado	38
6.3. Fabricación del mosto	42
6.4. Fermentación y maduración	52
6.5. Filtración y envasado	56
II. MEMORIA DE CÁLCULO	59
1 Volumen de producción y materia prima	59
2 Diseño fermentadores monotanque	65

2.1. Cantidad, capacidad y dimensionamiento	65
2.2. Material y espesor del tanque	68
2.3. Refuerzo en la unión entre codo y cuerpo	72
2.4. Peso del tanque	77
3 Diseño de enfriadores de mosto	83
3.1. Tipo de intercambiador y selección de material	83
3.2. Cálculo de corrientes de operación	83
3.3. Dimensionamiento del intercambiador de calor	85
3.4. Pérdida de carga	88
4 Diseño del sistema de transporte	89
4.1. Esquema general de flujo	89
4.2. Diseño de tuberías de producto	90
4.3. Sistema de válvulas y accesorios	92
4.4. Diseño de bomba centrífuga	96
4.4.1 Altura desarrollada por la bomba	97
4.4.2 Altura neta positiva de succión	98
4.4.3 $NPSH_d$	98
4.4.4 Potencia	99
III. PLANOS	101
1 Distribución funcional	101
2 Diagrama de flujo	102
3 Intercambiador de calor	103
4 Fermentador	104
IV. PLIEGO DE CONDICIONES	105
V. MEDICIÓN Y PRESUPUESTO	115
VI. BIBLIOGRAFÍA	123

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparativa cerveza artesanal-industrial	4
Tabla 2. Marcas de cervezas artesanales sevillanas	6
Tabla 3. Tipos de cervezas Ale según su procedencia	12
Tabla 4. Tipos de cervezas Lager según su procedencia o elaboración	14
Tabla 5. Valor nutricional de 100 g de cebada	26
Tabla 6. Criterio de selección del cultivo de cebada cervecera	26
Tabla 7. Composición química del agua en importantes ciudades cerveceras	27
Tabla 8. Dureza del agua según la concentración de CaCO_3	28
Tabla 9. Métodos de adición de lúpulo	31
Tabla 10. Composición de la <i>S. Cerevisiae</i> en base seca	32
Tabla 11. Comparación de levadura alta y baja	33
Tabla 12. Rango de T^a de gelatinización de distintos cereales	35
Tabla 13. Producción de carbohidratos solubles por la acción de las amilasas α y β (g/100 mL)	46
Tabla 14. Temperatura y pH óptimos para la extracción por infusión	46
Tabla 15. T de extracción, pH agua y concentración sobre fermentabilidad del mosto dulce	47
Tabla 16. Comparativa entre cuba filtro y filtro prensa	49
Tabla 17. Composición del mosto cervecero	54
Tabla 18. Cantidad de CO_2 disuelto en la cerveza	55
Tabla 19. Materias primas y volúmenes de producción para cerveza tipo Pilsen	63
Tabla 20. Volúmenes requeridos de CO_2 por estilo	69
Tabla 21. Presión ejercida por el CO_2 a diferente T^a y volúmenes	69
Tabla 22. Valor del espesor por sección del fermentador	72
Tabla 23. Valores de Δ para el cálculo del refuerzo unión cono-cilindro	74
Tabla 24. Diseño del anillo de compresión para el refuerzo cono-cilindro	77
Tabla 25. Datos de la corriente de mosto y refrigerante en el intercambiador	85
Tabla 26. Valores aproximados del coeficiente global de transferencia de calor	86
Tabla 27. Velocidad de flujo recomendada en tuberías	90
Tabla 28. Parámetros de diseño de tubería de suministro de mosto	91
Tabla 29. Parámetros de diseño de tubería de descarga de cerveza	92
Tabla 30. Coeficiente k para cambios de sección transversal	96

Tabla 31. Presupuesto de la planta	115
Tabla 32. Coste de maquinaria y mobiliario	115
Tabla 33. Informes y licencias para explotación de la fábrica	116
Tabla 34. Materia Prima por producción anual de cerveza	117
Tabla 35. Tipos de seguros sociales	118
Tabla 36. Convenio laboral colectivo	119
Tabla 37. Coste de mano de obra	119
Tabla 38. Consumo de electricidad diaria de la planta	119
Tabla 39. Ingresos anuales de la planta de cerveza	120
Tabla 40. Entradas y salidas económicas anuales	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la búsqueda en internet de cerveza artesanal	5
Figura 2. Proceso de glucólisis	8
Figura 3. Vías de obtención de energía celular	9
Figura 4. Metabolismo del piruvato durante la fermentación etílica	10
Figura 5. Tipos de cerveza de fermentación alta y baja	12
Figura 6. Esquema general de la planta	21
Figura 7. Emplazamiento fábrica cerveza artesanal	22
Figura 8. Emplazamiento fábrica cerveza artesanal	22
Figura 9. Comparación cebada cervecera y forrácea	25
Figura 10. Estructura de la flor de lúpulo	29
Figura 11. Pellets de lúpulo	29
Figura 12. Curva de aporte del lúpulo durante la cocción	30
Figura 13. Aspecto de una cerveza con levadura alta y baja	33
Figura 14. Diagrama general de la elaboración de cerveza	38
Figura 15. Proceso de germinación del grano de cebada	40
Figura 16. Caja de germinación de cebada cervecera	40
Figura 17. Torre de secado y malteado granos de cebada	41
Figura 18. Proceso general de malteado de cebada	42
Figura 19. Molienda seca con tres pares de rodillos	43
Figura 20. Sistema de molienda en húmedo	44
Figura 21. Sección vertical de una caldera de extracción por infusión	45
Figura 22. Cambios térmicos durante la maceración por decoción	48
Figura 23. Sección vertical de una caldera de ebullición de mosto	49
Figura 24. Diagrama de flujo de una caldera de cocción de mosto	50
Figura 25. Corte vertical de un Whirlpool tank de base cónica	50
Figura 26. Corte vertical de un intercambiador de placas para enfriamiento mosto	51
Figura 27. Línea de producción de mosto	52
Figura 28. Matraz Carlsberg	53
Figura 29. Tanque cilíndrico de fermentación	54
Figura 30. Diagrama de flujo de embotellado retornable de cerveza	57
Figura 31. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza	64
Figura 32. Base del fermentador cilíndrico	67

Figura 33. Esquema general del flujo de la corriente producto	89
Figura 34. Estructura de una válvula de compuerta	92
Figura 35. Ábaco de Moody para flujo en tuberías	93
Figura 36. Gráfica de rugosidad relativa	94
Figura 37. Longitud equivalente de tubería	95

1 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo principal del proyecto es el diseño de la ingeniería básica de una planta de cerveza artesanal que cumpla con los requisitos suficientes como para producir una cerveza que se diferencie de las cervezas industriales, aunque su precio de producción sea mayor, ya que la producción irá dirigida a una población creciente de consumidores dispuestos a pagar más por una cerveza natural, que sea de mayor calidad y mejor gusto y aroma.

Será objeto de este proyecto el diseño de aquellos equipos implicados en la elaboración de la cerveza a partir de la maceración.

Por tanto, la planta se abastecerá de la cebada ya malteada y elaborará una cerveza cuyo proceso acabará en tanques de almacenamiento, con una fermentación a partir de levaduras ya cultivadas y seleccionadas por otra fábrica la cual nos abastecerá de la cantidad suficiente para la producción.

Los equipos principales que son alcance de este proyecto para su diseño y cálculo son los siguientes:

- Caldera de maceración de la malta
- Caldera de cocción del mosto
- Intercambiador de calor
- Tanque de fermentación
- Filtro
- Tanque de almacenamiento

Además de otros equipos y accesorios complementarios y necesarios para el proceso, como son:

- Sistema de tuberías
- Válvulas de control y bombas de llenado
- Equipos de limpieza

Estará fuera del alcance del proyecto, el malteado, el embotellado y el etiquetado de la cerveza, ya sea en forma de barril, botella de vidrio o lata, sino suministrará el producto a otra planta para que ésta se encargue del envasado.

2 INTRODUCCIÓN

En la primera parte del proyecto se describen los motivos que han llevado a la aparición de la industria cervecera artesanal, las cifras que representan en el mercado español, el proceso de fermentación que requiere y los tipos de cerveza artesana que existen.

2.1. Antecedentes

El origen de la cerveza artesanal comenzó con el “boom” de los 70 en Estados Unidos y posteriormente en los 90 en Italia con la llegada de las microcerveceras. El arraigo por el sector artesanal en España no llegó hasta comienzos del nuevo milenio, cuando un hervidero de cerveceros caseros decidió profesionalizar su afición y fundar empresas para tal fin.

El contexto industrial de fabricación de la cerveza en España ha estado afectado por la crisis económica que ha comprendido el período de 2007 a 2015. En una época con una alta tasa de desempleo, los trabajadores deben integrarse a una sociedad y un entorno cambiante con características como puede ser la innovación, el esfuerzo, la experiencia y además, la suerte.

Durante los últimos 5 años el número de trabajadores autónomos en España ha crecido en sectores como el agrícola, sobre todo en zonas rurales en los que cada vez se demanda más un producto ecológico y artesanal. Es de ahí donde comienzan a nacer pequeñas empresas formadas generalmente por empresarios con poca experiencia en dirección y negocios pero que con entusiasmo y tesón han llegado a tener un cierto éxito en el mundo empresarial, como ocurre con el sector cervecero.

El interés de la sociedad por el mercado cervecero artesanal viene creciendo en los últimos años, debido a las mejoras que presenta la cerveza a pequeña escala en cuanto a sabor y calidad del producto respecto a la cerveza producida a escala industrial. Todo esto, sumado a la escasa inversión que tiene su producción comparada con la que se requiere para elaborar una cerveza a nivel industrial hace que sus cifras de producción, consumo y ventas sean cada vez mayores.

En 2008 había en España unas 20 cerveceras artesanales y 6 años más tarde la cifra ya llegaba hasta las 450, lo que suponía un crecimiento del negocio del 1400 % [1].

Debido al continuo desarrollo de la cerveza artesanal en nuestro país han surgido diversas asociaciones que definen, promocionan y defienden el sector, entre las que cabe destacar la Asociación Española de Cerveceros Artesanos Independientes (AECAI) y la GECAN (*Gremi d'Elaboradors de Cervesa Artesana i Natural*), una asociación sin ánimo de lucro nacida en Cataluña en 2010.

Los últimos datos proporcionaron un aumento de ingresos del sector del 29 % en 2018, llegando a 66 millones de euros de facturación, una cifra que se espera que llegue a las tres cifras en los años 2019-2020 y que por tanto, continúe el ascenso que el sector de la pequeña y mediana empresa cervecera ha experimentado hasta nuestros días.

2.2. Definición de cerveza artesanal

Según el Real Decreto 678/2016 por el que se aprueba la norma de calidad de la cerveza y de las bebidas de malta, la fabricación artesanal de cerveza es una elaboración mediante un proceso que se desarrolle de forma completa en la misma instalación y en el que la intervención personal constituye el factor predominante, bajo la dirección de un maestro cervecero o artesano con experiencia demostrable y primando en su fabricación el factor humano sobre el mecánico, obteniéndose un resultado final individualizado, que no se produzca en grandes series, siempre y cuando se cumpla la legislación que le sea aplicable en materia de artesanía [2].

El Gremio de Elaboradores de Cerveza Artesana y Natural de Cataluña (GECAN) es una de las asociaciones pioneras en el sector cervecero artesanal español y la definición y características que menciona sobre este producto se toma como referencia en toda la península. Según esta organización, la cerveza artesanal es el producto de la fermentación con levadura de un mosto procedente de la malta de cebada y/u otro tipo de cereal en grano junto con lúpulo, teniendo en cuenta que el contenido del cereal debe ser como mínimo del 80 % de la carga base [3]. Algunas de las características de este tipo de cerveza son:

- Existe la posibilidad de añadir otro tipo de materia prima como frutas, especias o flores para proporcionarle al producto un determinado sabor y aroma, siempre que no tenga como finalidad conseguir azúcares fermentables a bajo precio.
- El proceso de elaboración es controlado por un maestro cervecero y consta como mínimo de 5 etapas, todas en la misma instalación; Maceración, cocción (cuya caldera puede tener una capacidad máxima de 7.500 litros) enfriamiento, fermentación y envasado.
- Es un producto natural ya que el proceso está ausente de pasteurización y su producción es limitada como microempresa o pequeña empresa autónoma y en ella se ve prevalecida el factor humano.

Las diferencias entre la cerveza producida a gran escala y la pequeña y mediana cervecera se pueden resumir en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Comparativa cerveza artesanal-industrial.

Factor	Elaboración artesanal	Elaboración industrial
Objetivo principal	Cerveza de calidad	Maximizar beneficios
Receta	Flexible e innovadora	Estudiada con exactitud
Cereal malteado	Cebada, trigo y otros	Cebada, trigo y otros (arroz, mijo, etc)
Aditivos	Escasos y naturales	Conservantes artificiales
Elaboración	Mayoritariamente humana	Mayoritariamente automatizada
Filtración pre-ensado	Excepcional y en menor grado	Filtración química (maquinaria industrial)
Pasteurización	No	Sí
Distribución a consumidor	Cercana	Internacional

Una empresa de cerveza se puede dividir por tanto en tres grandes bloques según su nivel de producción y su grado de automatización:

- Cervecería artesanal: Elabora una cerveza en un proceso totalmente artesanal con una producción de unos cientos de hectolitros al año.
- Microcervecera: Produce una cerveza con un grado de fabricación automática mayor que las cervecerías artesanales y producen entre 500 y 50.000 hectolitros al año.
- Industria cervecera: Todo el proceso se realiza de forma industrial y se fabrican millones de hectolitros al año.

2.3. Estudio del mercado cervecero artesanal

En este apartado se ofrecen las cifras que el sector cervecero artesanal ha presentado en el último año en el mercado nacional, así como su producción, consumo, ventas y competencias [4].

- **Producción**

- España ocupa el sexto lugar en cuanto a micro-fábricas de cerveza (522 en abril de 2019), muy lejos todavía del Reino Unido (2.647), Francia (850), Alemania (738), Suiza (718) o Italia (703).
- Cataluña es la comunidad autónoma que cuenta con un mayor número de operadoras artesanales, con un total de 111 (21 %), seguida de Andalucía con 79 (15 %) y Castilla y León con 52 (10 %).
- En el año 2018 se proporcionaron unos datos de síntesis del sector artesanal por parte del *Observatorio Sectorial de DBK* en los que se mencionaba una producción en España de 240.000 hectolitros de cerveza artesanal, un 33 % más que el volumen producido en 2017, frente a los 85.000 hectolitros producidos apenas 3 años antes.
- En 2018 se contaba con 511 empresas microcerveceras, es decir, se han formado 11 empresas en el último año. El crecimiento es bajo comparado con el cambio experimentado desde 2016, ya que desde entonces el número de empresas artesanales ha aumentado en 80.

- **Consumo**

- La cerveza artesanal está dirigida a un consumidor más adulto, representando su mayoría a un público entre 25 y 42 años (62 % de la población total según una encuesta realizada por *Punto de Fuga*) y mayoritariamente masculino (59 %).
- Hay regiones donde las cifras de consumo están por encima del resto de la península, como ocurre con Andalucía y Extremadura, donde se consume el 21 % de la cerveza artesanal total producida. Cataluña y Madrid son también zonas de gran consumo de cerveza artesanal en España (8 y 11 % del total respectivamente).
- Alrededor de 650 marcas de cerveza artesanales y 522 fábricas cerveceras representan un 1 % del volumen de ventas, cifra todavía baja pero que está en continuo crecimiento, como demuestra la Figura 1, donde se muestra las búsquedas en internet del término cerveza artesanal en los últimos años.

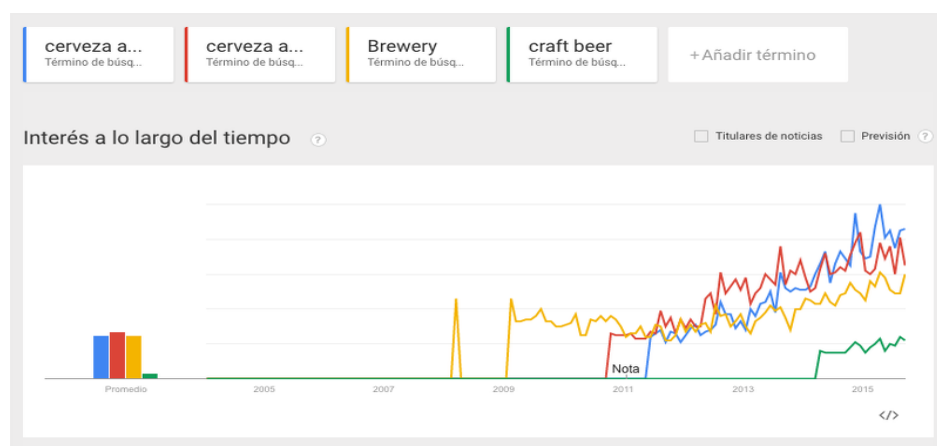


Figura 1. Evolución de la búsqueda en internet de cerveza artesanal (Cerveceros)

- **Facturación**

- Un 63 % del crecimiento de la facturación de 2019 se debe al sector artesanal, ya que el Premium Price es un 250% mayor en comparación con una cerveza estándar industrial.
- El volumen de facturación del negocio de la cerveza artesanal ha sido de 65 millones de euros en 2019, un 29 % más que el año anterior. Se prevé que se mantenga con una tendencia creciente a corto plazo, estimándose para 2020 un total de ventas que llegue a los 100 millones de euros, muy lejos de los 3.500 millones de euros que factura la cerveza a nivel industrial hoy día, pero que sin embargo ayuda al crecimiento del sector cervecero, aportando unas cifras y un interés mayor cada día por este producto.

- La recuperación económica favorable de las familias españolas y el auge del sector artesanal ha ayudado a las cifras de facturación y venta de esta bebida a una tendencia alcista en los últimos años.

• Competencia

El mercado de la cerveza artesanal se está expandiendo en nuestro país y así lo demuestran las cifras de producción, consumo y ventas como hemos visto anteriormente.

- Andalucía cuenta ya con 79 microfábricas de cerveza artesanal, una comunidad liderada por Málaga con una veintena de ellas, seguida de Sevilla, Granada y Cádiz.
- En la capital andaluza la cerveza es un producto muy arraigado a la cultura y a la sociedad y en su mercado ha nacido en los últimos años un producto artesanal que entiende la cerveza como una posibilidad de ofrecer al sevillano un producto con una gran variedad de estilos y sabores.
- A día de hoy podemos encontrar 8 marcas que fabrican cerveza artesanal en Sevilla, como se observa en la *Tabla 2*.
- Hay otras 5 que diseñan su propia receta pero no tienen fábrica, lo que se conoce como cervezas nómadas y son; Cerveza Hecatombe (Mairena del Aljarafe), cervezas Morgual (Espartinas), la Bamba Craftbeer (Alcalá de Guadaira), cervezas Pergara (Cazalla de la Sierra) y Tedeska (Sevilla).

Tabla 6. Marcas de cervezas artesanales sevillanas.

Marca	Fundación	Localidad	Observación
Río Azul	2017	Hytasa	Zona bar para degustación
Desiderata	2014	Mairena del Aljarafe	Exporta a países como Francia o Holanda
Mond	2013	San José de la Rinconada	Mejor cerveza del mundo en su categoría (ITQI)
Vandalia	2013	Utrera	De las primeras artesanales lanzadas
Insitu	2016	Sanlúcar la Mayor	Cuenta con 8 variedades diferentes
Guadalquibe	2018	Valencina de la Concepción	Receta elaborada en Cádiz
8 huellas	2014	Los palacios y Villafranca	Zona bar para degustación
Cárdenas	2014	Dos Hermanas	Cuenta con 3 variedades diferentes

• Compromiso de sostenibilidad ambiental

El sector cervecero español ha acordado por primera vez en 2019 una memoria de sostenibilidad ambiental, fundamentada en 5 principios básicos y con un horizonte de cumplimiento a 2025. Estos son:

- Circularidad del envase
- Eficiencia energética
- Reducción de la huella de carbono
- Mejora de la eficiencia del uso del agua
- Innovación y sensibilización ambiental

El sector cervecero ha destinado más de 20 millones de euros en inversión ambiental desde 2016 y actualmente un 76 % de las productoras cerveceras a nivel nacional están cubiertas por sistemas de gestión ambiental certificados por la ISO 14001:2015 y por el reglamento EMAS, una normativa voluntaria de la Unión Europea que reconoce a aquellas organizaciones que han adquirido un Sistema de Gestión Medioambiental (SGMA) verificando su mejora continua con auditorías independientes.

La industria cervecera tiene un compromiso cada vez mayor con el medioambiente y así lo reflejan los datos proporcionados en los últimos años [5]:

- Reducción del 31% de la intensidad del consumo de energía y del 19% del consumo de agua en las plantas de elaboración desde 2008.
- Incremento de un 20 % del reciclado de envases de vidrio de un solo uso desde el mismo año.
- Consumo de energías renovables que han evitado un total de 300.000 toneladas de gases de efecto invernadero en los dos últimos años (2016-2018).
- A día de hoy, el 92,6 % de la energía eléctrica utilizada en las plantas cerveceras procede de fuentes renovables y el 99 % de los residuos son valorizados, es decir, reutilizados para su uso como materia prima o como fuente de energía.
- El 46 % de las cervezas son comercializadas en envases reutilizables y el 70 % del material de los envases de vidrio topacio es reciclado.

Además, las compañías de cerveza apuestan cada vez más por una distribución de sus productos que permitan reducir la emisión de CO₂, empleando vehículos eléctricos o híbridos, optimizando el proceso de entrega o empleando sistemas de refrigeración más eficientes y libres de Hidrofluorocaburos (HFC), los cuales se comportan como gases de efecto invernadero y favorecen el calentamiento global.

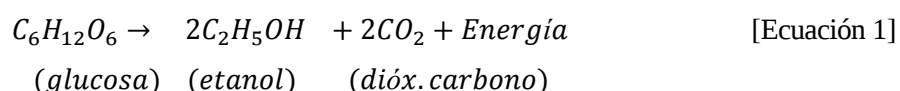
2.4. La fermentación

La fermentación es un proceso biológico y constituye la etapa del proceso de elaboración donde se produce la transformación de la cerveza propiamente dicha, siendo la etapa más importante de la cadena productiva. Consiste en la acción controlada de la levadura, seleccionada e inoculada para transformar los substratos sobre los que actúa en nuevos productos.

Mientras exista oxígeno en el mosto (mezcla de agua, azúcares fermentables y demás sustancias), la levadura, antes de la fermentación, es capaz de desarrollarse y reproducirse rápidamente mediante un metabolismo respiratorio, mientras que cuando el oxígeno se agota, la levadura utiliza un metabolismo fermentativo que es mucho más lento pero produce etanol como producto final. Es decir, el metabolismo de la levadura cambia de una respiración aerobia inicial a una segunda fase de fermentación etílica anaerobia, lo que se conoce como fermentación alcohólica.

Durante la fermentación alcohólica, las levaduras usan los azúcares del mosto en su crecimiento y multiplicación, dando la formación de alcohol, anhídrido carbónico y energía para su utilización en las actividades celulares [6].

La expresión más simple del proceso catabólico de oxidación incompleta y anaerobio de la fermentación de la glucosa para dar Etanol y CO₂ se muestra en la [Ecuación 1]:



Además del etanol se obtienen otros compuestos productos de la metabolización, que tendrán un papel fundamental en las características de la cerveza final.

Su duración y las transformaciones ocurridas dependen de las condiciones de temperatura y presión las que se encuentran las cepas de levaduras, así como el tipo de estas seleccionadas.

La maltosa y la maltotriosa contenidas en el mosto son hidrolizadas en el interior de las células mediante un sistema enzimático a glucosa. A partir de entonces, la glucosa es cuando comienza el proceso de conversión a etanol, anhídrido carbónico y energía, como ya se mostró en la [Ecuación 1].

Esta ecuación, denominada Gay-Lussac en honor al científico francés del mismo nombre, muestra que la glucosa se transforma en pesos casi iguales de etanol y dióxido de carbono, además de energía necesaria por la levadura para la actividad celular. Esta energía no es aceptada totalmente por las células, desgraciadamente, y parte de ella se disipa en forma de calor, lo que resulta ser una reacción exotérmica.

Es un aspecto muy importante a tener en cuenta, ya que debe estar controlada la temperatura de la fermentación, sobre todo a gran escala, para así garantizar una correcta metabolización por parte de la levadura cervecera.

Desde el punto de vista bioquímico, la fermentación requiere de una etapa inicial de glucólisis [6]. Es una vía metabólica compuesta por una serie de reacciones, las cuales son catalizadas por un conjunto de 10 enzimas, como se observa en la Figura 2. Ocurre en el citoplasma en ausencia de oxígeno y producen una serie de metabolitos intermedios hasta llegar al objetivo final, obtener dos moléculas de piruvato a partir de la degradación de una de glucosa.

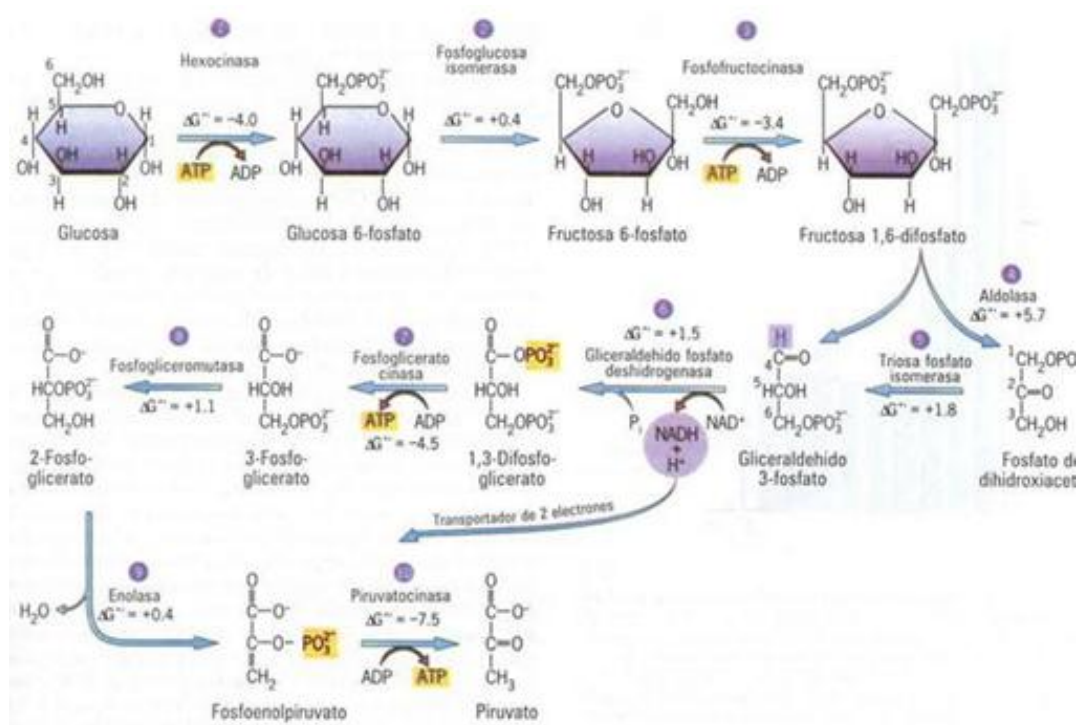
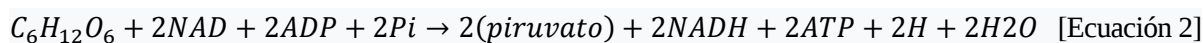


Figura 2. Proceso de glucólisis (Dennis E. Briggs, 2004)

Para ello se necesitan 2 moléculas de ATP (adenosín trifosfato), la principal fuente de energía para la mayoría de actividades celulares. Como resultado de la glucólisis se obtienen 4 moléculas de ATP y dos de NADH (Nicotin Adenin Dinucleótido reducido), por lo que se obtiene una ganancia neta de energía (reacción catabólica). La reacción se puede expresar en la [Ecuación 2]:



Una vez obtenido el piruvato, el metabolismo celular de la mayoría de organismos vivos se encarga de continuar las reacciones catabólicas para obtener energía mediante la respiración aerobia. Para ello, se lleva a cabo la descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico formado en la glucólisis. De esta forma, el piruvato entra en la matriz mitocondrial, como se observa en la Figura 3, y desprende dióxido de carbono.

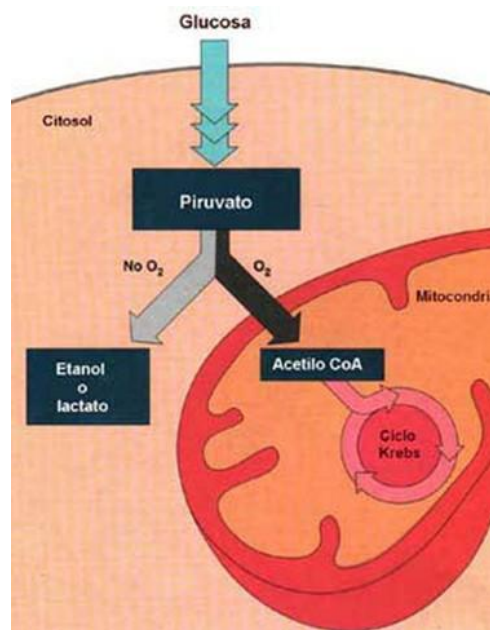


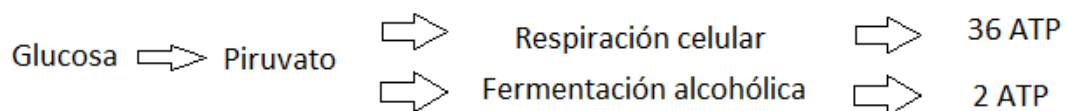
Figura 3. Vías de obtención de energía celular (Cooper, 2000)

Tras un proceso de deshidrogenación, se transforma en un radical acetilo, el cual es captado por la coenzima A para formar el Acetilo-CoA. Este compuesto se transporta al ciclo de Krebs, un ciclo metabólico cuyo objetivo es producir dióxido de carbono para liberar energía en forma utilizable.

En este proceso oxidativo de respiración se obtiene energía en forma de 36 moléculas ATP por cada molécula de glucosa.

Sin embargo, las células de levaduras y algunas bacterias son capaces de llevar a cabo una ruta catabólica de obtención de energía a partir del piruvato sin necesidad de oxígeno, lo que se conoce como el propio proceso de fermentación. La fermentación que realiza la levadura puede ser láctica (que produce ácido láctico a partir del piruvato) o alcohólica (que produce alcohol etílico) entre otras.

La fermentación alcohólica es la que se realiza en la industria cervecera y en ella, las células de levadura son capaces de transformar el ácido pirúvico en etanol y dióxido de carbono como ya se ha mencionado antes, además de energía en forma de moléculas ATP.



Como se observa en la *Figura 26*, ocurre también en el citoplasma al igual que la glucólisis y en la reacción se emplean dos enzimas; la piruvato descarboxilasa y la alcoholdehidrogenasa [7].

La descarboxilasa es la enzima que transforma el ácido pirúvico en acetaldehído, liberando el dióxido de carbono mencionado antes, y una vez obtenido el acetaldehído, la enzima deshidrogenasa se encarga de convertirlo en etanol, como se observa en la *Figura 4*.

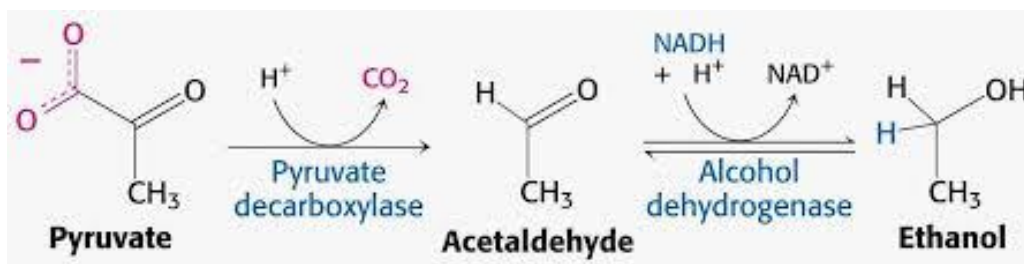


Figura 4. Metabolismo del piruvato durante la fermentación etílica (UAH)

De esta forma, la levadura es capaz de seguir obteniendo energía una vez agotado el oxígeno en el mosto, lo que le permite seguir desarrollándose y sobre todo, producir el etanol, fundamental para la transformación del mosto a la cerveza alcohólica.

- **Fases de fermentación**

Teniendo en cuenta el comportamiento de la levadura, podemos considerar 3 fases fundamentales durante la fermentación [6]:

1. Fase de latencia: Es la fase inicial que sufre la levadura desde que es inoculada en el mosto hasta pasadas unas 15 horas.

En este tiempo, la levadura se adecúa al ambiente y absorbe las sustancias necesarias del mosto para su crecimiento y desarrollo, como oxígeno, sales minerales, péptidos y aminoácidos.

2. Fase de crecimiento exponencial y fermentación: Pasado un día desde la siembra de la levadura en el mosto y durante 3 o 4 días, la levadura comienza a consumir los azúcares presentes en el mosto, desde la glucosa y la maltosa a otros más complejos como la maltotriosa, cuyo consumo depende de la cepa de levadura empleada.

Se empieza a producir dióxido de carbono, que sale de la disolución y comienza a formarse la capa de espuma sobre la cerveza. La levadura comienza a reproducirse de manera exponencial, obteniendo la energía en su mayoría por fermentación alcohólica debido a la ausencia ya de oxígeno consumido en la primera fase. Produce por tanto etanol y los primeros compuestos saborizantes indicativos pero no finales del producto.

3. Fase de acondicionamiento: Es la etapa de la fermentación en la cual se ralentiza el crecimiento de la levadura y entra en una fase de estacionamiento de la actividad reproductiva. Comienza al cuarto día de la siembra y puede durar hasta una semana, alargando el proceso hasta los 10 días.

En este punto, ya se han producido la mayoría de sustancias encargadas de proporcionarle el sabor y aroma a la cerveza, incluyendo alcoholes, ésteres y compuestos azufrados, aunque no han madurado lo suficiente como para darle un equilibrio aceptable al producto, motivo por el que se le denomina cerveza verde.

4. Fase de sedimentación: Es la última etapa y puede durar hasta 10 días. Esta acaba cuando no se observe ningún tipo de burbujeo en la cerveza producto de la fermentación. La espuma comienza a desaparecer y la levadura a flocular, depositándose en el fondo en el caso de la fermentación baja, o en la superficie si se trata de una fermentación alta.

A pesar de detenerse por completo la fermentación, la cerveza no alcanza un equilibrio de sabor ni aroma, ya que hay compuestos que todavía deben ser reducidos. Para ello se lleva a cabo la fase de segunda fermentación o maduración, la cual se explicará en el apartado donde se explica todo el proceso de elaboración.

- **Tipos de fermentación**

Como hemos dicho anteriormente, según la cepa de levadura empleada, el último periodo de la fermentación alcohólica se da en la parte superior o inferior de la cuba de fermentación [8].

- Fermentación baja: Una vez se tiene el mosto clarificado, se enfría hasta unos 7-11 °C para la siembra de la levadura. Tras una etapa de latencia lo más corta posible, la fermentación aumenta progresivamente la T de la cerveza hasta un máximo de 10-15 °C. Se lleva a cabo en tanques cerrados herméticamente cuya T se controla mediante refrigeradores en serpentines que enfrían lentamente el mosto, evitando una brusca floculación de la levadura.

La densidad del mosto disminuye durante el proceso, así en las cervezas Lager se reduce de 1.044 g/L (11°P) a 1.011 g/L tras la fermentación principal. La cerveza verde se trasiega cuando contiene un 0,5-1 % de extracto biodegradable y el tiempo de fermentación y floculación varía según el tipo de cepa empleada (pulverulenta o floculante).

- Fermentación alta: La T de siembra a la que se lleva el mosto se encuentra entre 15 y 17 °C, con una dosis de levadura generalmente menor, y aumenta hasta los 20-25 °C con un control de la T por refrigeración. La fermentación suele durar en torno a 5 días, mucho menos que las de baja fermentación que pueden durar entre 1 y 3 semanas.

En la última fase apenas se produce fermentación y la levadura asciende a la superficie, donde es recogida por aspiración y mantenida en frío generalmente para ser reutilizada.

2.5. Tipos de cerveza

La cerveza se puede presentar de una multitud de formas según su sabor, aroma, color o fuerza. Para diferenciar entre los diversos estilos de cervezas, el sector cervecero utiliza dos tipos de clasificaciones, en función de su extracto seco primitivo o bien, en función de su fermentación [3].

- **En función de su extracto seco primitivo**

El extracto seco primitivo (ESP) es la cantidad de ingredientes orgánicos contenidos en el mosto, con excepción del agua, antes de la fermentación.

Se mide en g ESP/100 g mosto y se pueden clasificar en:

- Cervezas sin alcohol: ESP entre 2 y 4.
- Cervezas tradicionales: ESP mayor o igual a 11.
- Cervezas especiales: ESP mayor o igual a 13.
- Cervezas extra: ESP mayor o igual a 15.

- **En función del tipo de fermentación**

Es la clasificación más importante y usada de la cerveza y se basa en el tipo de levadura empleada, lo que lleva a una condición concreta en el momento de la fermentación, como se ha explicado en el apartado anterior.

En el caso de emplear levadura flotante, la fermentación se produce en la superficie del mosto. Este tipo de levadura se emplea para producir la cerveza conocida como cerveza de tipo Ale [9]. Otro tipo de fermentación es la que ocurre con las levaduras en el fondo de la cuba, es decir, es una fermentación baja, y se emplea para elaborar las cervezas de tipo Lager.

Dentro de cada una de estos tipos de cervezas se pueden diferenciar según la materia prima empleada (calidad de malta, dosis de lúpulo, cantidad y calidad de adjuntos, etc) y según los parámetros del proceso productivo, que van a incidir en aspectos como el color, el amargor, el extracto o la atenuación.

La gran variedad de aspectos influyentes en el proceso de elaboración hace que la variedad de cervezas sea enorme tanto dentro de la familia Ale como Lager, como se observa en la *Figura 5*.

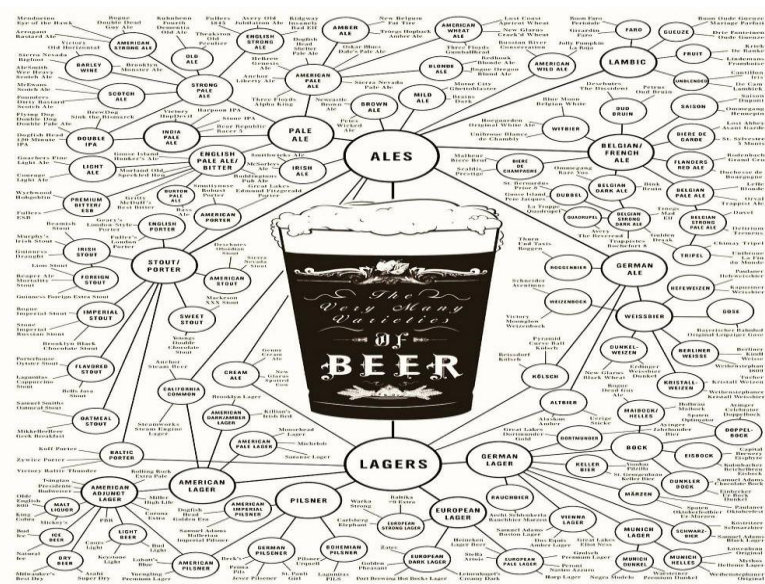


Figura 5. Tipos de cerveza de fermentación alta y baja (GECAN)

• Tipo “ALE”

Ale es la palabra inglesa que abarca a toda la familia de cervezas cuya última parte de la fermentación ocurre en la superficie alta del líquido. Este tipo de cervezas fueron las primeras en llegar, incluso antes de tener conocimiento de las levaduras e incluso su existencia. Fue entre 1857 y 1863 cuando el químico francés Luis Pasteur descubrió que los culpables de que se produjera la fermentación eran una especie de microorganismos vivos contaminantes del cereal y la fruta identificados como hongos microscópicos, a los que denominaría *Saccharomyces cerevisiae* (ver apartado 5.4 “Levadura”).

La Ale es una cerveza muy aromática, con un sabor más marcado que el de la tipo Lager y su color, estilo o cuerpo varía según su procedencia [9], como se observa en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Tipos de cervezas Ale según su procedencia

Estilo	Denominación	Sabor	Color	Carácter	Graduación alcohólica	Otros aspectos
Inglés	Mild Ale	Suave	Poco oscura	Ligera	3-4 %	Servidas e en barril
Inglés	Bitter Ale	Amarga ; seca	Pálida	Ligera	3,5-4 %	Es considerada la cerveza opuesta a la Mild
Inglés	Pale Ale	Poco amarga	Bronceada	Poco densa	4,5-5 %	Servidas en botella generalmente
Inglés	Brown Ale	Fuerte y seca	Castaña	Poco densa	3,5-4,5 %	Fuerte sabor a malta y afrutadas

Estilo	Denominación	Sabor	Color	Carácter	Graduación alcohólica	Otros aspectos
Inglés	Old Ale	Poco amarga	Oscura	Densa	5,5-8,5 %	Vendidas “cervezas de invierno”
Inglés	BarleyWine Ale	Poco amarga	Oscura	Densa	9-12 %	Nombre debido a la graduación, parecida a la del vino
Inglés	Scotch Ale	Suave	Marrón rojiza	Densa	6,5-8,5%	Sabor adulado
Inglés	Irish Red Ale	Suave	Rojiza	Densa	4-6 %	Fuerte sabor a malta y afrutadas
Inglés	Porter	Poco amarga	Casi negra	Densa	4,5-5,5 %	Si coge mayor cuerpo y graduación se denomina “Stout Porter”
Inglés	Stout	Amarga	Casi negra	Muy densa	7-8 %	La marca más famosa es la Guinness
Belga	Ale tostada	Poco amarga	Castaña	Poco densa	5-6 %	Mezcla de cervezas jóvenes y viejas
Belga	Ale rojiza	Suave	Rojiza	Ligera	5,5-6,5 %	Muy ácidas, lo que la hace ser muy refrescante
Belga	Ale dorada	Poco amarga y seca	Pálida	Poco densa	7-9 %	Tienen un sabor fuerte y afrutadas
Belga	Ale Saison	Poco amarga	Anaranjada	Poco densa	4,5-6,5 %	Se sirven de julio a septiembre (robustas para el calor y ácidas para refrescar)
Belga	Ale trapense	Poco amarga	Diverso	Diverso	5-11 %	Diversos estilos fabricados por monjes en abadías trapenses
Alemán	Altbier Ale	Suave	Bronceado	Poco densa	4,5-5 %	Fermentación en caliente propio de las Ale pero con maduración en frío
Alemán	Kölsch	Suave	Pálida	Poco densa	4,5-5 %	Mismo proceso de fermentación y maduración que las Altbier

- **Tipo “LAGER”**

Se conoce como lager a la cerveza elaborada por fermentación baja y es la forma más común de hacer cerveza en la actualidad. Es una cerveza que trabaja en la parte inferior del tanque a baja temperatura para posteriormente conservar en frío, lo que provoca la maduración de la cerveza, motivo del nombre lager, que significa almacenar en alemán [9].

Además del tiempo de guarda hay otros factores como la densidad del mosto, el lúpulo utilizado, las mezclas de malta o el propio proceso de elaboración que afecta al producto final de la lager. La clasificación de estas cervezas se puede realizar según diversos factores, como se observa en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Tipos de cervezas Lager según procedencia o elaboración

Procedencia	Denominación	Sabor	Color	Carácter	Graduación	Otros aspectos
Checa	Pilsen	Suave y seca	Pálida	Ligera	4,5-5,5 %	Aroma a lúpulo característico y la más fabricada del mundo
Alemana	Münchner Helles	Suave	Pálida	Poco densa	4,5-5,5 %	Aspecto parecido a la Pilsen pero menos carácter lupulizado
Alemana	Münchner Dunkel	Poco amarga	Oscura	Poco densa	5-6 %	Fuerte carácter a malta
Alemana	Märzenbier	Poco amarga	Cobrizo	Poco densa	5,5-6,5 %	Cerveza más consumida en el festival muniqués <i>Oktoberfest</i>
Belga	Dortmunder Export	Suave y seca	Pálida	Poco densa	4,5-5,5 %	Mayor cuerpo que la Pilsen pero menos amarga
Elaboración	Denominación	Sabor	Color	Carácter	Graduación alcohólica	Otros aspectos
Alemana	Bock	Poco amarga	Ámbar-marrón oscuro	Densa	4,5-6,5 %	Cerveza fuerte con color claro u oscuro
Alemana	Doppelbock	Amarga	Ámbar-marrón oscuro	Densa	7-10 %	Fuerte carácter a malta
Alemana	Weizenbock	Poco amarga	Ámbar-marrón oscuro	Densa	6,5-8 %	Emplea malta de trigo además de cebada

Elaboración	Denominación	Sabor	Color	Carácter	Graduación alcohólica	Otros aspectos
Alemana	Maibock	Amarga	Ámbar-marrón oscuro	Densa	6,5-8 %	Servida en primavera, fuerte para el frío y afrutada para el calor
Alemana	Eisbock	Amarga	Ámbar-marrón oscuro	Densa	9-14 %	Dopplebock congelada, absorbe parte de agua

- **Cervezas de fermentación espontánea**

Es el tipo de cerveza más antiguo que se conoce y se elabora dentro y en los alrededores de Bruselas únicamente. Su principal diferencia respecto a las cervezas de fermentación alta y baja es que a éstas no se les añade levadura, sino que se adhiere al mosto por contacto con el ambiente del lugar de donde procede. Se caracterizan por su alta acidez y un sabor poco amargo debido al envejecimiento del lúpulo.

Presentan una malta procedente en un 70% de la cebada y en un 30% del trigo (de ahí su acidez). Podemos distinguir entre cuatro tipos [9]:

- **Lambic:** Se cree que su nombre proviene de la ciudad belga de Leembeek. Contiene un 30% de trigo sin maltear y lúpulo viejo. Presenta un color amarillo intenso y su sabor, debido a la presencia de trigo, es ácido. Contienen un porcentaje de alcohol de menos del 5% y es la cerveza base para las otras cervezas espontáneas que veremos a continuación.
- **Geuze:** Es una mezcla de la Lambic vieja y joven producida típicamente en la zona de Bruselas. El contenido en azúcar de la Lambic joven permite una segunda fermentación que presenta una cerveza con alta presencia de espuma y burbujas. Tiene un contenido en alcohol en torno al 5,5%.
- **Faro:** Es una cerveza azucarada producto de una mezcla de cervezas Lambic a la que se le añade azúcar moreno (a veces caramelo o melaza). Tiene un bajo contenido en alcohol y presenta un aspecto más ligero que las otras dos cervezas de fermentación espontánea.
- **Kriek, Framboise, Pécheresse:** La Kriek es una cerveza Lambic a la que se le ha añadido cerezas (Kriek en flamenco) y durante el período de guarda el azúcar de la fruta ha provocado una segunda fermentación que ha impregnado a la cerveza de olor y sabor de ésta. Lo mismo ocurre con la Framboise, una cerveza a la que se le añade fresas en lugar de cerezas o la Pécheresse, a la que se le ha añadido melocotón. Tienen un contenido en alcohol del 5,5-6%.

3 NORMATIVA JURÍDICA APLICABLE

El objetivo de este apartado es mencionar las normas a las que está sujeta la industria cervecera dentro del marco jurídico, desde su fabricación hasta su comercialización. De manera simplificada, estas son las normativas a las que está sujeta la cerveza como producto alimentario [2].

- **Normativa aplicable a la cerveza como producto (RTS)**

Hasta el momento, desde el punto de vista de la calidad del alimento, la elaboración y comercialización de bebidas de malta en España han estado reguladas por la normativa horizontal de la Unión Europea en materia alimentaria, por el Real Decreto 53/1995 del 20 de enero, por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de la cerveza, y por la Orden del 15 de octubre de 1985, por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis de la cerveza.

Ante el desarrollo de innovaciones tecnológicas, la evolución de los mercados, la modificación de las expectativas de los consumidores y el auge de la cerveza de fabricación artesanal, como es el caso de este proyecto, resultó necesario actualizar la normativa nacional sobre elaboración y comercialización de cervezas y bebidas de malta en el Real Decreto 678/2016 relativo a la norma de calidad de la cerveza y de las bebidas de malta.

- **Normativa aplicable al etiquetado de cerveza**

El Real Decreto 1334/1999, de 31 de julio establece las Normas generales general de etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios y es aplicable a los productos destinados a ser entregados sin ulterior transformación al consumidor final, así como a los aspectos relativos a su presentación y a la publicidad que se hace de ellos y que en esta Norma se regulan.

- **Legislación aplicable a la cerveza sobre impuestos especiales**

La Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales define los impuestos especiales como tributos de naturaleza indirecta que recaen sobre consumos específicos y gravan, en fase única, la fabricación, importación y, en su caso, introducción, en el ámbito territorial interno de determinados bienes, así como la matriculación de determinados medios de transporte, el suministro de energía eléctrica y la puesta a consumo de carbón, de acuerdo con las normas de esta Ley.

El Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, establece las condiciones detalladas de aplicación de la Ley en forma de Reglamento (BOE nº 179, de 28 de julio de 1995), mencionando que la repercusión obligatoria del impuesto produce el efecto de que el gravamen sea soportado por el consumidor, además de lo que lo hace el IVA en su condición de impuesto general (al tipo del 21% para la cerveza).

Tiene la consideración de impuestos especiales los Impuestos Especiales de Fabricación y dentro de los impuestos especiales de fabricación se encuentra los impuestos especiales sobre el alcohol y las bebidas alcohólicas, como es el caso de este proyecto y los cuales se actualizan mediante la Ley General de Presupuestos del Estado.

- **Normativa de envasado de cerveza**

El Real Decreto 1801/2008, de 3 de noviembre establece las normas relativas a las cantidades nominales para productos envasados y al control de su contenido efectivo.

Las disposiciones establecidas sobre el control del contenido efectivo de los productos envasados se aplican en fábricas, plantas de envasado, almacenes de los distribuidores o en los almacenes de los importadores a los productos envasados y destinados a su venta en cantidades nominales unitarias constantes.

En el Real Decreto 703/1988, de 1 de julio se aprueban las características de las botellas utilizadas como recipientes-medida, así como las modalidades de control de las mismas que se contienen en los anexos I y II del presente Real Decreto.

Se aplica a los recipientes fabricados con vidrio o cualquier otro material que presente características de rigidez y estabilidad y ofrezca las mismas garantías metrológicas para almacenamiento, transporte o suministro de líquidos, siempre que tenga una capacidad nominal igual o superior a 0,05 litros e inferior o igual a 5 litros y posean cualidades metrológicas que permitan su utilización como recipientes-medida.

La Ley 11/1997, de 24 de abril de Envases y Residuos de Envases tiene por objeto prevenir y reducir el impacto sobre el medio ambiente de los envases y la gestión de los residuos de éstos a lo largo de todo su ciclo de vida, aplicándose esta Ley a todos los envases y residuos de envases puestos en el mercado y generados, respectivamente, en el territorio del Estado.

- **Normativa medioambiental IPPC**

La Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación tiene por objeto evitar o, cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente en su conjunto.

Es aplicable a las instalaciones de titularidad pública o privada en las que se desarrolle alguna de las actividades industriales incluidas en las categorías enumeradas en el anexo 1 y es una ley que articula un procedimiento donde deberán constar los límites máximos de emisión autorizados en función de las mejores técnicas disponibles en cada caso.

- **Normativa medioambiental GICA**

La ley GICA (Gestión Integrada de la Calidad Ambiental) del 7/2007, de 9 de julio, tiene como objeto establecer un marco normativo adecuado para el desarrollo de la política ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía, a través de los instrumentos que garanticen la incorporación de criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones sobre planes, programas y proyectos, la prevención de los impactos ambientales concretos que puedan generar y el establecimiento de mecanismos eficaces de corrección o compensación de sus efectos adversos, para alcanzar un elevado nivel de protección del medio ambiente.

- **Normativa medioambiental AAI**

El Real Decreto del 5/2012, de 17 de enero, regula la autorización ambiental integrada y entiende ésta como la resolución del órgano competente de la Comunidad Autónoma en la que se ubique la instalación, por la que se permite, solo a efectos de protección del medio ambiente y de la salud de las personas, explotar la totalidad o parte de una instalación, bajo determinadas condiciones destinadas a garantizar que la misma cumple el objeto y las disposiciones de esta Ley.

Los titulares de las instalaciones donde es aplicable la ley deben disponer de la AAI y cumplir las condiciones establecidas en ella, como el caso de la industria cervecera. Al otorgar la autorización ambiental integrada, el órgano competente debe tener en cuenta que en el funcionamiento de las instalaciones se adopten las medidas adecuadas para prevenir la contaminación aplicando las mejores técnicas disponibles.

- **Normativa aplicable en seguridad y salud**

El Reglamento (CE) nº 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002 establece los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y fija procedimientos relativos a la seguridad alimentaria.

Establece principios y responsabilidades comunes, los medios para proporcionar una base científica sólida y disposiciones y procedimientos organizativos eficientes en los que basar la toma de decisiones en cuestiones referentes a la seguridad de los alimentos y los piensos.

Es aplicable a todas las etapas de la producción, la transformación y la distribución de alimentos y de piensos, pero no a la producción primaria para uso privado ni a la preparación, manipulación o almacenamiento domésticos de alimentos para consumo propio.

Es de aplicación, además, desde el 1 de enero de 2006, el Reglamento UE nº 853/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios y que establece normas generales destinadas a los operadores de empresa alimentaria en materia de higiene de los productos alimenticios, los cuales tienen como obligación cerciorarse de que en todas las etapas de la producción, la transformación y la distribución de alimentos bajo su control se cumplen los requisitos de higiene pertinentes contemplados en el presente Reglamento.

- **Normativa aplicable en prevención de riesgos laborales**

La Ley 31/1995 de 8 de noviembre constituye la normativa sobre prevención de riesgos laborales, sus disposiciones de desarrollo o complementarias y cuantas otras normas, legales o convencionales, contengan prescripciones relativas a la adopción de medidas preventivas en el ámbito laboral o susceptibles de producirlas en dicho ámbito.

Tiene por objeto promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo. A tales efectos, esta Ley establece los principios generales relativos a la prevención de los riesgos profesionales para la protección de la seguridad y de la salud, la eliminación o disminución de los riesgos derivados del trabajo, la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores en materia preventiva, en los términos señalados en la presente disposición.

Es de aplicación tanto en el ámbito de las relaciones laborales reguladas en el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores, como en el de las relaciones de carácter administrativo o estatutario del personal civil al servicio de las Administraciones públicas. Ello sin perjuicio del cumplimiento de las obligaciones específicas que se establecen para fabricantes, importadores y suministradores, y de los derechos y obligaciones que puedan derivarse para los trabajadores autónomos.

- **Normativa aplicable en seguridad contra incendios**

El Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales tiene por objeto establecer y definir los requisitos que deben satisfacer y las condiciones que deben cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio, para prevenir su aparición y para dar la respuesta adecuada, en caso de producirse, limitar su propagación y posibilitar su extinción, con el fin de anular o reducir los daños o pérdidas que el incendio pueda producir a personas o bienes.

Las actividades de prevención del incendio tendrán como finalidad limitar la presencia del riesgo de fuego y las circunstancias que pueden desencadenar el incendio, mientras que las actividades de respuesta al incendio tendrán como finalidad controlar o luchar contra el incendio, para extinguirlo, y minimizar los daños o pérdidas que pueda generar.

- **Normativa aplicable en protección del trabajador**

Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre tiene por objeto, en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales, establecer las disposiciones mínimas para la protección de los trabajadores frente a los riesgos para su seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

Las disposiciones de este Real Decreto se aplicarán a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados de vibraciones mecánicas como consecuencia de su trabajo.

Teniendo en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas de control del riesgo en su origen, los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible, basándose así en los principios de la acción preventiva establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.

4 DESCRIPCIÓN DE LA FÁBRICA

En este apartado se explican los procesos que intervienen en el proceso para la elaboración de la cerveza artesanal, la situación de la planta y cómo se distribuye y organiza la actividad dentro de ella.

4.1. Introducción

La planta está diseñada para producir cerveza a pequeña escala, con una elaboración artesanal por maestros cerveceros que llame la atención del cliente y sea un producto reconocido por su calidad y su forma simple y natural de producción. De esta forma, los equipos serán diseñados con dimensiones menores a las que encontramos en una gran industria cervecera.

Dentro de la fábrica podemos considerar como equipos principales los que intervienen en los tres procesos que más energía requieren y cuya presencia hace posible la elaboración de la cerveza. Estos son el macerador, la caldera de cocción y el fermentador-madurador.

Además, hay otros equipos secundarios que engloban el proceso y cuya ausencia provocaría un deterioro en la calidad del producto, como es el clarificador que filtra el mosto macerado, el intercambiador que adecúa la T del mosto caliente a la de activación de la levadura en el tanque de fermentación, el tanque de almacenamiento y el clarificador, que filtra y acelera la estabilización en frío antes de ser envasada.

La fábrica contará con un sistema de tuberías por el cual transcurrirá el flujo de líquidos y de un sistema de bombas e instrumentos de regulación y control para el impulso y manejo de éstos. El proceso de la elaboración de la cerveza en la fábrica se puede simplificar de la siguiente manera:

- Maceración de la malta en la caldera
- Clarificación del mosto previa a su cocción mediante bomba
- Trasiego del mosto a la caldera de cocción
- Ebullición del mosto con adición de lúpulo
- Centrifugado, enfriado y sireado del mosto previo a su fermentación
- Fermentación del mosto en el tanque cilíndrico y almacenaje
- Clarificación del mosto fermentado y estabilización en frío
- Trasiego a los tanques de almacenamiento

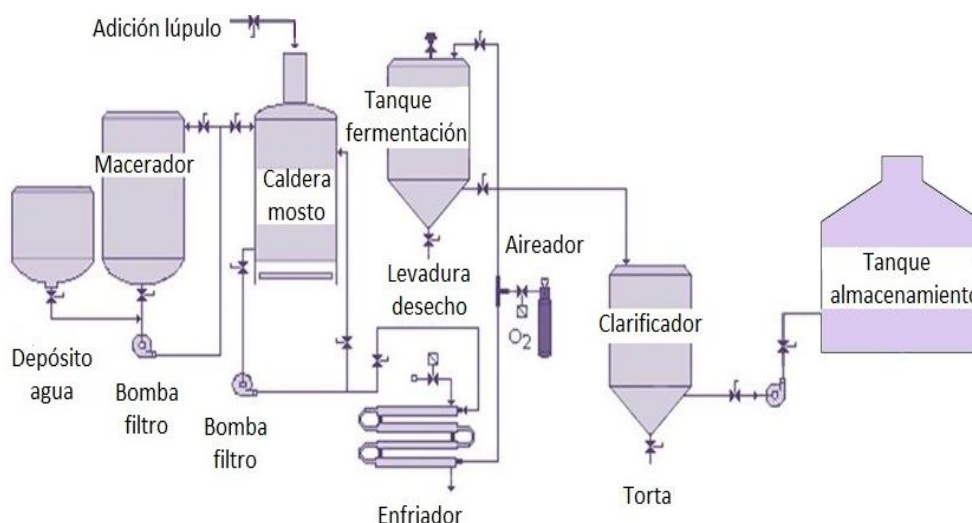


Figura 6. Esquema general de la planta

Como se puede observar en la *Figura 6*, al ser una fábrica de cerveza artesanal, el proceso no cuenta con aditivos. Además, el tanque de fermentación sirve también como madurador, sin contar con un segundo tanque en el que se someta la cerveza a carbonatación.

Tampoco se realiza ningún proceso de pasteurización como mecanismo de inhibición de microorganismos que pudiera alterar la calidad de la cerveza, ni con un filtrado industrial que alterara ciertas propiedades. Por ello, la fábrica se centra en los equipos necesarios para producir una cerveza natural y sencilla, con un fuerte carácter, peso, sabor y unas propiedades organolépticas que la hagan única en el mercado.

4.2. Situación

Una de las características más importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar la planta es elegir su ubicación. En este caso, se ha decidido implantar la fábrica en un local situado en la Avenida de Extremadura, enfrente del Polígono Industrial Itálica y junto al Arroyo de San Nicolás, en el municipio de Santiponce, como se observa en la *Figura 7* y *Figura 8*.

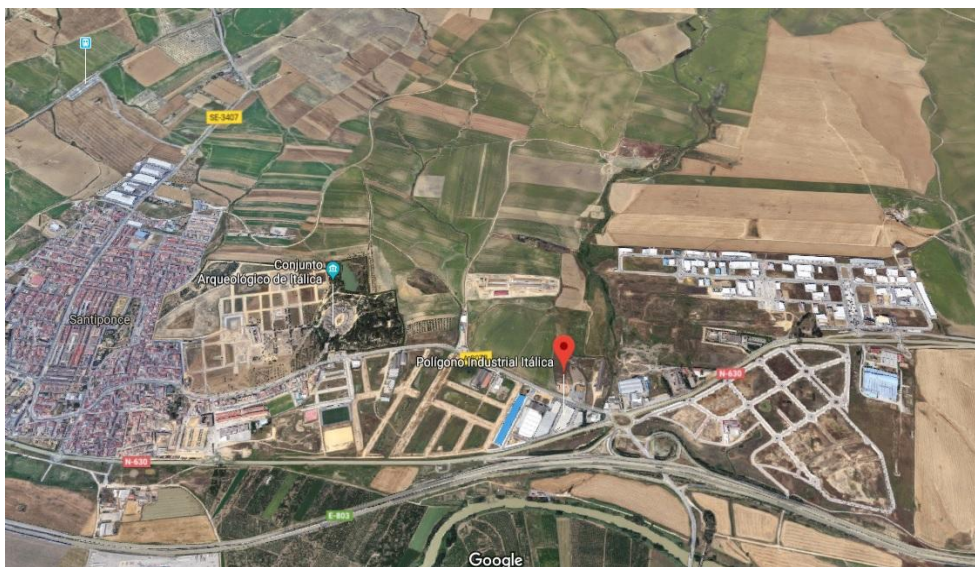


Figura 7. Emplazamiento fábrica cerveza artesanal

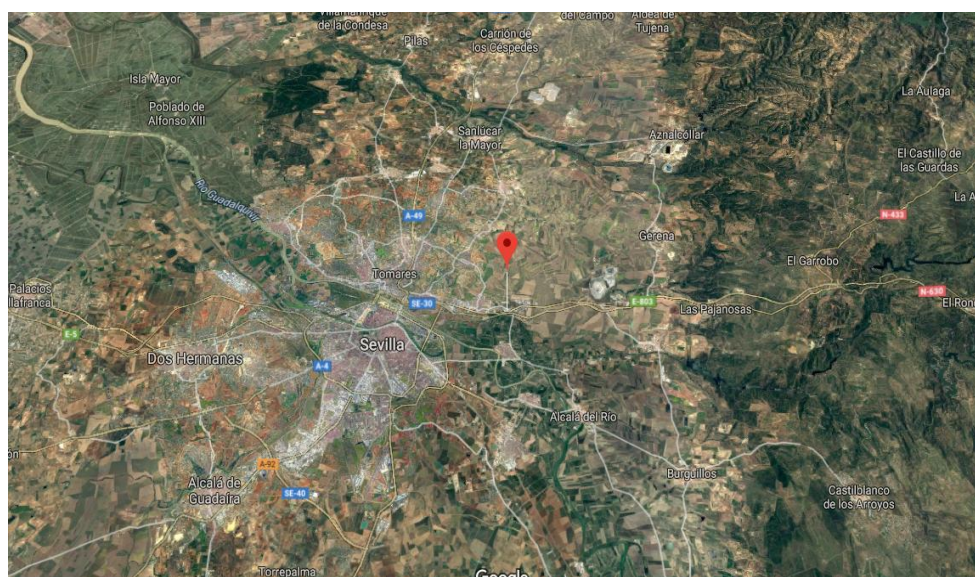


Figura 8. Emplazamiento fábrica cerveza artesanal

4.3. Justificación

La idea de situar la fábrica de cerveza artesanal en la carretera nacional, a la altura de Santiponce, se debe a estos motivos:

- Se encuentra tan solo a 16 km de la capital andaluza, una de las ciudades con mayor consumo, competencia y cultura en el mundo de la cerveza artesanal.
- A pesar de su corta distancia, la fábrica no se encuentra en el centro urbano de Sevilla, lo que supondría un importante aumento de costo en inversión, siendo ésta el punto principal de distribución de la fábrica, con la idea de ser consumida en negocios fuera del hogar.
- Está situada tan solo a 1 km de los mayores atractivos turísticos de la provincia de Sevilla, como es el conjunto arqueológico de Itálica
- También está aproximada (a 21 km) de otro de los pueblos más turísticos de la provincia hispalense, como es el caso de Gerena.
- Aun estando la fábrica localizada en un punto cercano del casco histórico de Santiponce, pueblo de gran atractivo turístico por su antepasado romano, se encuentra pegada a la carretera A-8078, por lo que dispone de fácil accesibilidad y rápida fluidez desde otras poblaciones.
- La fábrica está ubicada en un punto de fácil accesibilidad para los camiones de suministro de cerveza de los tanques de almacenamiento, ya que se encuentra pegada a la nacional N-630, una de las carreteras nacionales más transitadas a nivel nacional y unas de las más largas del país, teniendo su punto final en Gijón
- Al estar pegada a la N-630, la fábrica dispondrá de importantes conexiones como la autovía Ruta de la Plata A-66 y la autopista de peaje AP-66, lo que favorece los suministros a diferentes comercios del país en caso de tener la voluntad de expandir el negocio.

4.4. Distribución funcional

La planta cuenta con diferentes zonas, cada una enfocada a una función dentro del proceso de elaboración. Se pueden clasificar como:

- Sala de tratamiento de agua: Es la zona destinada al almacenamiento, tratamiento y calentamiento del agua necesaria para la obtención del mosto.
- Sala de generación de vapor: En ella se encuentra la caldera cuyo objetivo es formar el vapor necesario para el proceso de elaboración del mosto lupulizado.
- Sala de maceración y cocción del mosto: Su objetivo es obtener el mosto previo a su fermentación, empleando el vapor procedente de la caldera. En la maceración se mezclará la malta suministrada por el proveedor junto con el agua, que tras un proceso de calentamiento y extracción producirá un mosto con alto porcentaje de azúcares fermentables, y pasará a una caldera de ebullición y un posterior enfriamiento, para adecuarlo a las condiciones de fermentación.
- Sala de elaboración: En esta zona de la planta se llevará a cabo el proceso de fermentación, maduración y estabilización de la cerveza. Está conectada a los tanques de almacenamiento de suministro.
- Zona de carga: Es la zona exterior de la fábrica donde accederán los camiones para recoger el producto terminado y ser transportado a la empresa de envasado y etiquetado de la cerveza. Cuenta con una zona de parking para los clientes y trabajadores de la fábrica.
- Zona de descarga y almacenamiento de materias primas: Es la zona destinada a la recogida y almacenamiento de la materia prima para el proceso productivo (agua, lúpulo, cereal malteado y levadura). Dispone de una cámara frigorífica para la conservación de todos los ingredientes, con un control de la T para evitar el crecimiento y contaminación de microorganismos y el consiguiente deterioro del producto.

5 MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS

En la industria cervecera hay 4 ingredientes principales que se requieren para llevar a cabo el proceso productivo; el cereal que va a sufrir el proceso de malteado y que en nuestro caso, debido a su uso común, va a ser cebada, el agua, el lúpulo y la levadura. Además de estos cuatro hay un quinto ingrediente empleado; los adjuntos, los cuales explicaremos a continuación.

5.1. Cebada

La cebada (*Hordeum Vulgare*, A) es un alimento de origen vegetal perteneciente a la clasificación de los cereales, dentro de la familia de plantas Poaceae (Gramíneas) [10]. Es un cereal consumido desde la antigüedad, originario de Israel y uno de los conocidos como cereales de invierno, ya que su cosecha se realiza en verano. Su especie, como se puede observar en la Figura 9, está determinada por el número de espiguillas/carreras y se pueden diferenciar dos tipos.

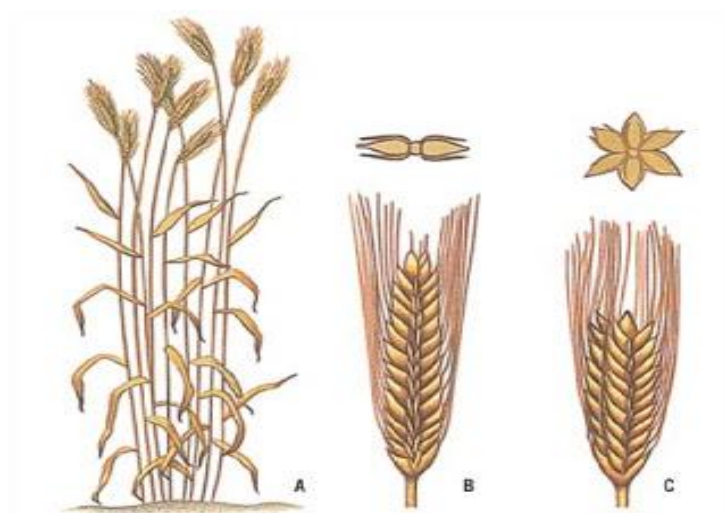


Figura 9. Comparación cebada cervecera y forrácea (Poicon, 2010)

La *Hordeum Distichon* (B), contiene 2 espiguillas y es conocida por ser un cereal muy empleado en la industria cervecera debido a unas características que mencionaremos posteriormente. Por su parte, la *Hordeum hexastichon* (C), contiene 6 espiguillas y se utiliza frecuentemente como forraje para la alimentación animal.

- **Ventajas**

- **Nutritivas:** Es un cereal que contiene menor cantidad de gluten, y mayor proporción de proteínas que el trigo, otro de los cereales más cultivados a nivel mundial. Es un alimento rico en vitaminas del grupo B que intervienen en el equilibrio de la salud del sistema cardíaco, hepático y nervioso y es una buena fuente de potasio, magnesio y fósforo. Su mayor virtud es, como se puede observar en la Tabla 5, la riqueza en oligoelementos como hierro, azufre o cobre entre otros.

Tabla 5. Valor nutricional de 100 g de cebada

Proteínas	12,5g	Vitamina B₉	19µg
Glúcidos (azúcares)	56,2g	Vitamina E	0,6mg
Lípidos (grasas)	2,3g	Calcio	33mg
Aporte Calórico	354 cal	Fósforo	264mg
Vitamina A	2µg	Magnesio	133mg
Vitamina B₁	0,646mg	Hierro	3,6mg
Vitamina B₂	0,285mg	Potasio	452mg
Vitamina B₃	8,07mg	Cinc	2,77mg
Vitamina B₆	0,318mg		

- **Geográficas:** Es un cultivo muy extendido debido a sus pocas exigencias climáticas. Se adapta muy bien a la altitud y latitud, tolera las bajas temperaturas y no necesita de tierra fértil para cultivarse, siendo capaz de crecer en zonas pedregosas debido a su capacidad de transpiración. Además, soporta el exceso de salinidad y los márgenes de calcio y pH.
- **Otras:** Otro de los aspectos importantes es la presencia de las “glumas, que van a evitar una posible contaminación criptogámica del grano, asegurar una correcta distribución del agua por capilaridad y contribuir al proceso de filtración del mosto actuando como lecho filtrante.

- **Criterios de selección**

La cebada que se debe seleccionar para la industria cervecera depende de varios factores y condiciones [10], como se puede observar en la *Tabla 6*:

Tabla 6. Criterio de selección del cultivo de cebada cervecera

Característica	Condición	Motivo
Productividad	Cebada resistente a secano	Crece en medio árido y poco fértil
Regularidad	Cebada precoz	Resistir en épocas de sequía
	Cebada con poca tendencia a encamado	Facilitar recolecta en épocas lluviosas
	Cebada con siembra a final de invierno	Evitar mala producción por el frío
	Cebada con poca tendencia a contaminarse por agentes externos	Evitar un deterioro y una mala producción del cultivo

Calidad	Cebada de dos carreras	Mejor calidad cervecera que la de seis (utilizada generalmente para pienso animal)
	Cebada con germinación regular	Facilitar la producción del cereal
	Cebada con alto contenido en diastasa	Conseguir una alta capacidad de conversión del almidón a azúcares fermentables
	Grano de cebada grueso, redondeado y uniforme	Facilitar la germinación y su posterior disolución en el macerado
Resistencia a enfermedades	Cebada con poca tendencia a contaminarse por agentes externos	Evitar un deterioro y una mala producción del cultivo

La cebada es la materia prima principal en la elaboración de la cerveza. Este cereal sufre un proceso de remojo, germinación y secado conocido como malteado, proceso que se explicará en el siguiente apartado como primera etapa del proceso de elaboración de la cerveza.

5.2. Agua

Cuando hablamos de cerveza son generalmente la malta y el lúpulo los que suelen cobrar protagonismo a la hora de definir su sabor, espuma o aroma.

Sin embargo, el agua resulta un factor determinante ya que es el ingrediente que más relevancia tiene en la cerveza, con un porcentaje en peso del 90-95 % del total y cuya composición química varía según la zona donde nos encontremos [9], como podemos observar en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Composición química del agua en importantes ciudades cerveceras

Lugar	HCO_3^-	Na^+	Cl^-	SO_4^{-2}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Tipo
Londres	156	99	60	77	52	16	Mild/Bitter Ale
Dublín	319	12	19	54	117	4	Stout/Porter
Pilsen	14	2	5	5	7	2	Pilsner
Múnich	152	10	2	8	75	18	Lager
Dortmund	180	69	106	260	261	23	Dortmunder
Amberes	76	37	57	84	90	11	Ale Belga

A día de hoy contamos con un I+D que nos permite tratar el agua según la cerveza que deseamos fabricar mediante procesos físico-químicos importantes como la ósmosis inversa (proceso que cuenta con una membrana semipermeable para la eliminación de iones, moléculas y demás partículas para la purificación) o la adición de sales.

- **Influencia de los principales iones disueltos**

- **Bicarbonatos:** Afecta directamente al pH del mosto y se cuantifica como “alcalinidad total” (capacidad de equilibrar ácidos). Las cervezas oscuras tienen mayor acidez (concentración de iones calcio y magnesio) por lo que contienen aguas con mayor contenido en bicarbonatos para su equilibrio, conociéndose como cervezas más duras (mayor contenido en sales disueltas).
- **Calcio:** Es un ión imprescindible para la dureza del agua, ya que se encarga de bajar el pH para la conversión eficaz del almidón y demás macromoléculas a un rango óptimo entre 5,1 y 5,5 durante la maceración del mosto. Se debe evitar un contenido en exceso ya que provocan un aumento de precipitación de las proteínas, dándole demasiada turbidez, opacidad y amargor a la cerveza.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) clasifica la dureza del agua según los niveles de carbonato de calcio disuelto en ella, como se observa en la *Tabla 8*.

Tabla 8. Dureza del agua según la concentración de CaCO_3

Concentración de CaCO_3 (mg/L)	Tipo
0-60	Blanca
61-120	Semiblanda
121-180	Dura
>180	Muy dura

- **Sulfatos:** Acidifican el mosto cervecero junto al calcio durante el macerado, aunque su función principal es darle un sabor amargo seco a la cerveza, influyendo en la cantidad de lúpulo a añadir.
- **Magnesio:** Es uno de los nutrientes principales para la levadura encargada de fermentar el mosto cervecero, aunque un exceso de este aporta un sabor amargo a la cerveza debido a la precipitación de proteínas.
- **Sodio y cloruro:** El sodio le da cuerpo y carácter a la cerveza, aunque debe evitarse en exceso ya que le da un sabor demasiado salado, mientras que el ión cloruro tiene el efecto contrario, dándole un sabor adulzado. Ambos deben evitarse en grandes cantidades ya que provocan una textura demasiado compleja al producto final.

- **Tratamiento del agua**

La planta cervecera contiene una zona destinada al tratamiento del agua, de tal forma que nos garantice que el agua a emplear tiene los compuestos deseados en las cantidades precisas para la cerveza a elaborar. Podemos definirlo en las siguientes etapas:

- Análisis y control microbiológico
- Clarificación
- Suavizado con descalcificador
- Intercambio de iones
- Filtrado por membranas y carbón activo

Se estima que la cantidad de agua requerida por cada litro de cerveza producida está entre 3 y 10 litros. Esto nos hace ver que las plantas cerveceras deben tener una fuente importante de abastecimiento de agua y un sistema de optimización con las menores pérdidas y el máximo aprovechamiento y siempre con los procesos de tratamiento y saneamiento adecuados.

5.3. Lúpulo

El lúpulo es una planta de la familia Cannabaceae, tipo perenne, trepadora y puede alcanzar hasta los 5 metros de altura. La parte empleada para la de la cerveza es la flor, cuya estructura, como se observa en la *Figura 10*, presenta unas brácteas verdes con forma de hoja [10]. Por la parte inferior se encuentra lo conocido como lupulina, una glándula de color amarillento que es la que le aporta el amargor y el aroma característico a la cerveza.

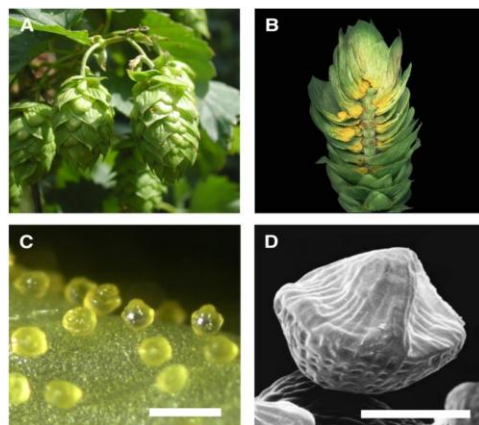


Figura 10. Estructura de la flor de lúpulo (Cervceros Andaluces S.L)

El sabor amargo (medido en unidades de amargor IBU, Internacional Bittering Units) se obtiene de los principios activos que contiene la lupulina en la resina blanda (α -ácidos y β -ácidos) [9], que contrarrestan la dulzura que aporta los azúcares fermentables al mosto, además de proporcionarle una retención de la espuma. La glándula vegetal contiene aceites esenciales, cuya función es darle a la cerveza el aroma deseado y taninos o polifenoles, que dan turbidez a la cerveza y cuyo exceso puede producir un sabor y aspecto indeseado.

- **Tipos de lúpulo**

- **Flor de lúpulo:** Se utiliza una vez separada del tallo y hojas, tras secarse y comprimirse. La ventaja de lupulizar con la flor son las cualidades aromáticas que tiene, además de facilitar el filtrado del mosto lupulizado. Tienen varias dificultades, como el alto volumen de almacenaje requerido, su vulnerabilidad a la oxidación o la alta capacidad de absorción que provoca más pérdidas.
- **Pellets de lúpulo:** Para producir este tipo de lúpulo se ralla, se moldea y se comprime el lúpulo seco, presentando un aspecto como el de la *Figura 11*. Son muy utilizados en las cerveceras artesanas por el escaso peso y volumen que ocupa, además de su mayor resistencia a la oxidación.



Figura 11. Pellets de lúpulo

- Extracto de lúpulo: Es un concentrado de α -ácidos, polifenoles y aceites esenciales mediante calor y el uso de disolventes. Permite alargar la duración y reducir el volumen de almacenaje. Su inconveniente es difícil uso en pequeñas dosis debido a su alta concentración y su potente carácter lupulizante. Por ello, se emplea a menudo en grandes industrias o en fábricas que deseen reducir mosto y producir una cerveza muy lupulizada.
- Lúpulo fresco: En este caso se emplea un lúpulo fresco y no procesado tras su cosecha, lo que permite producir en el mosto un potente sabor y aroma. Su inconveniente es su baja concentración debido a la humedad contenida (no es secado), por lo que necesita una gran cantidad de lúpulo para obtener una cerveza suficientemente lupulizada.

• Métodos de empleo

El método de empleo varía según el tipo de lúpulo a utilizar. Los α -ácidos necesitan de isomerización para producir el amargor (transformación en otra molécula de igual composición química y diferente disposición geométrica), que es mayor cuanto más tiempo está el lúpulo en ebullición, lo que se conoce con el término “utilización”.

El lúpulo aporta también sabor y el aroma, generados por los aceites esenciales contenidos en las glándulas de lupulina. Éstos se ven liberados en el mosto conforme se disuelven en la cocción, aunque hay un momento en el que el mosto comienza a suavizarse y a perder su sabor y aroma debido a la alta volatilidad del aceite.

Por ello, el lúpulo se añade 20-40 minutos antes del terminar la cocción, para equilibrar la pérdida por volatilidad del aceite con la isomerización de los α -ácidos mencionada antes.

Tanto el proceso que sufre el lúpulo amargo como el aromático y el que proporciona sabor se pueden ver claramente en la *Figura 12*.

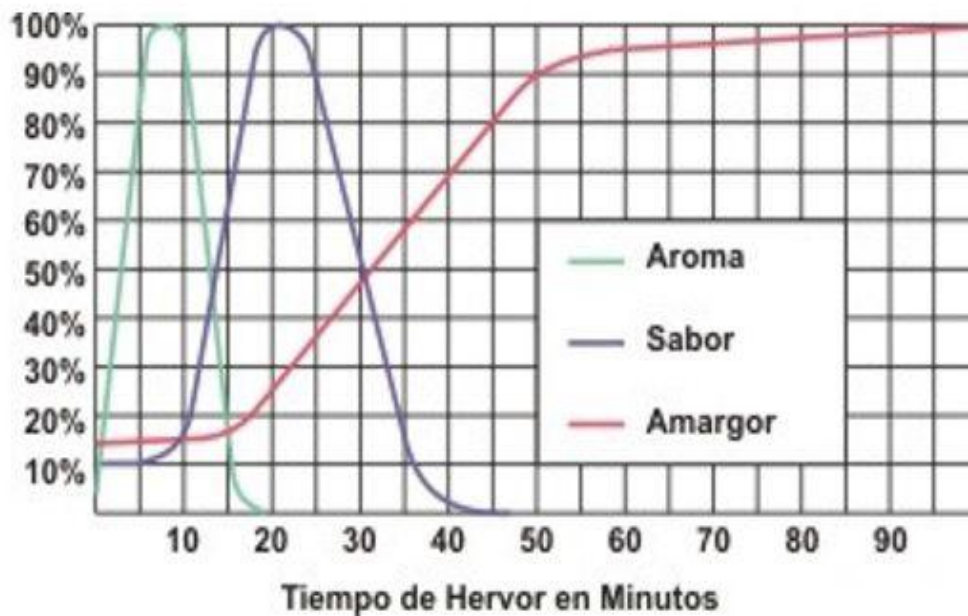


Figura 12. Curva de aporte del lúpulo durante la cocción (The Beer Times T.M)

Además de añadir el lúpulo durante la cocción del mosto, existe la posibilidad de emplearlo en otra de las etapas del proceso de elaboración, para jugar así con el aroma, el amargor y el sabor de la cerveza [9], como se observa en la *Tabla 9*.

Tabla 9. Métodos de adición de lúpulo

Método	Adición de lúpulo	Objetivo
First Wort Hopping	Durante el trasiego macerador-cocedor del mosto	Proporcionar un amargor suave y un aroma y sabor agradable a la cerveza
Hop Back	Al final de la ebullición mediante tanque relleno de conos de lúpulo	Producir un aroma fresco y agradable a la cerveza y facilitar el filtrado de ésta con la flor de lecho filtrante
Dry Hopping	Tras la fermentación y maduración de la cerveza en frío	Asegurar la permanencia y potencialidad del aroma y sabor de la cerveza y evitar su volatilidad
Randall	Antes de ser servida mediante dos conexiones al barril, una para el lúpulo y otra para la refrigeración	Potenciar el aroma y frescor de la cerveza, así como su refrigeración y retención de espuma

5.4. Levadura

Las levaduras son hongos unicelulares eucariotas. Presentan una morfología con una estructura esférica u ovalada y se hallan ampliamente distribuidas por la naturaleza en diferentes hábitats.

Se emplea en diversos campos como el industrial, el económico o el biotecnológico. Se utiliza para la elaboración del pan, para la fermentación de bebidas alcohólicas y para la producción de azúcar.

Es muy utilizado con fines médicos y farmacéuticos, debido a su capacidad de segregar antibióticos para combatir a los microorganismos con los que conviven, o para la investigación y experimentación genética y proteínica, gracias a su simpleza biológica, su reducido coste o su gran capacidad para reproducirse.

Se caracterizan generalmente por dividirse de forma asexual mediante gemación multicelular, aunque se pueden reproducir por fisión binaria.

La mayoría de las levaduras se consideran organismos aerobios facultativos, es decir, que pueden vivir con la presencia o no de oxígeno, aspecto de suma importancia como hemos visto anteriormente para la fermentación alcohólica.

• Tipos de levaduras

Dentro de la familia de las levaduras podemos encontrar en torno a 40 géneros diferentes. Entre ellos se encuentra la *Saccharomyces*, un tipo de levadura que se caracteriza por su incapacidad para emplear nitratos y por otro lado, su capacidad de fermentar diferentes carbohidratos, lo que lo hace ser uno de los géneros más importantes.

Algunas de las variedades de *Saccharomyces* se consideran muy importantes dentro de la industria alimentaria, entre las que destacan [9]:

- *S. Cerevisiae*: Se utilizan en la producción de ron, cerveza, pan, vino o kumis (lácteo tradicional de Asia central), gracias a su capacidad de producir dióxido de carbono y etanol durante su fermentación cuando se encuentra en medios ricos en azúcares.

- *S. Bayanus*: Se emplea fundamentalmente en procesos de fermentación alcohólica, en concreto en la producción de vino y sidra. Contienen cepas (población de células descendientes de una única célula) con diferentes características metabólicas, pudiendo tener un origen híbrido.
- *S. Pastorianus*: Es una levadura descubierta y empleada por la famosa compañía cervecera danesa *Carlsberg*, motivo por el que se conoce también como *Carlsbergensis*. Se emplea para la investigación de ciertos procesos de la glucólisis y contienen cepas de diferentes características metabólicas, lo que hizo pensar en un tiempo que esta levadura y la *S. Bayanus* eran la misma.
- *S. Kéfir*: No es una levadura como tal, sino un hongo producto de la mezcla de una bacteria *Lactobacillus Acidophilus* con levadura *S. Cerevisiae*. Cabe mencionarla debido a su importancia en la industria láctea, fermentando la leche y produciendo ácido láctico.

• La levadura cervecera

Se conocen dos tipos de levaduras capaces de fermentar el mosto cervecero, la *S. Carlsbergensis* (encargada de llevar a cabo una fermentación baja, como ocurre con las cervezas tipo Lager) y la *S. Cerevisiae*, que realiza el proceso de fermentación alta (producida en las de tipo Ale).

A día de hoy se le denomina *Saccharomyces Cerevisiae* a toda levadura capaz de realizar la fermentación alcohólica del mosto cervecero.

S. Cerevisiae deriva de las palabras *Saccharo* (azúcar), *myces* (hongo) y *cerevisiae* (cerveza). La crema concentrada de esta levadura alcanza un valor en materia seca a del 18-20 % y una cantidad de proteínas en base seca en torno al 45%, según las condiciones de producción y operación de cada fábrica [9].

En la *Tabla 10* se muestran los valores promedios de la composición química de levadura *S. Cerevisiae* en base seca.

Tabla 10. Composición de la *S. Cerevisiae* en base seca

Componente (%)	<i>S. Cerevisiae</i>
Materia seca	90 %
Proteínas	45 %
Minerales	39 %
Cenizas	5 %
Fibra	2 %
Fósforo	1 %
Grasa	0,5 %
Calcio	0,2 %
Magnesio	0,2 %

La estructura que presenta la levadura empleada es la característica principal que difiere entre una cepa de levaduras que trabaja a fermentación alta (Ale) o baja (Lager). Sin embargo, hay otras características que

diferencian a ambos tipos de levadura, como se observa en la *Tabla 11*:

Tabla 11. Comparación de levadura alta y baja

Tipo de levadura	Alta	Baja
Temperatura de fermentación	7-15 °C	16-25 °C
Sabor y aroma	Dulce y afrutado debido a la formación de ésteres afrutados durante la fermentación	Desagradable por la formación de azufres, aunque son eliminados durante la guarda en frío, presentando un sabor más fresco
Tiempo de fermentación	1-3 semanas debido a la alta velocidad de fermentación (mayor T)	1-3 meses debido a la baja velocidad de fermentación (menor T)
Tamaño	Menor	Mayor

El tamaño es otra característica importante a la hora de definir una levadura con fermentación alta o baja, ya que un mayor tamaño provoca su decantación y un final de la fermentación en la zona inferior del tanque, mientras que un tamaño menor produce su flotación por arrastre hacia la superficie del tanque debido a la presencia del CO₂ generado.

La levadura baja produce una cerveza más cristalina (Lager) que la formada por la levadura acendida a la zona superior (Ale), cuya cerveza presenta mayor cuerpo, carácter y turbidez, como se observa en la *Figura 13*.



Figura 13. Aspecto de una cerveza con levadura alta y baja (Cerveza Artseanal Co)

- **Crecimiento y desarrollo de la levadura cervecera**

Hay una serie de factores condicionales que afectan al comportamiento y al desarrollo de la levadura [6]:

- Presión osmótica: Se debe evitar medios híper e hipotónicos ya que la levadura realiza un proceso de nutrición por ósmosis y podría provocar un estrés osmótico y reducir su volumen, así como su capacidad y velocidad fermentativa.
- Temperatura: Las bajas temperaturas provocan un retraso en el desarrollo de las levaduras, mientras que las altas temperaturas reducen la cantidad de proteínas, y por lo tanto, un descenso de la biomasa de levadura.
- Desecación: La escasez de agua es uno de los principales problemas para la actividad y el desarrollo de la levadura.
- Luz: Al carecer de clorofila, la levadura es un microorganismo incapaz de obtener energía a través de la radiación y suele ser perjudicial para su crecimiento.
- pH: El pH óptimo para los microorganismos está entre 4 y 5. Las levaduras cerveceras tienen la capacidad de soportar medios más ácidos, lo que es usado en la industria para controlar el medio.
- Alcohol: El etanol tiene un efecto de disminución del crecimiento y actividad de las células, pudiendo actuar como inhibidor a partir del 8 % durante la fermentación.

Además de estas variables de condición, la levadura cervecera requiere de una serie de nutrientes para su crecimiento y su actividad fermentativa:

- Fuente de azúcares (carbohidratos) fermentables para obtener energía necesaria para la descomposición de la materia orgánica.
- Fuente de nitrógeno para la síntesis de proteínas, generalmente iones amonio para su crecimiento, aunque se ve favorecida por aminoácidos.
- Las vitaminas y los iones inorgánicos son otra fuente nutritiva necesaria para el crecimiento y el desarrollo celular y los minerales aportan un papel estructural y enzimático.
- La levadura inoculada en el mosto necesita de oxígeno para sintetizar los esteroides y ácidos grasos insaturados.

A los dos o tres días, el oxígeno se consume en su totalidad y la fermentación pasa a producir etanol a niveles exponenciales de forma anaeróbica.

5.5. Adjuntos

Los adjuntos son todos aquellos ingredientes que añaden azúcares fermentables al mosto cervecero, sin tener en cuenta el ingrediente base de la elaboración de nuestra cerveza, la cebada.

Los podemos clasificar en dos tipos; los que añaden azúcares fermentables gracias a la conversión del almidón que contienen, es decir, adjuntos macerables, y los ingredientes que se añaden directamente al hervidero del mosto ya que contienen directamente los azúcares para la fermentación de la levadura.

• Adjuntos macerables

Dentro de los ingredientes que contienen almidón y que producen azúcares fermentables con la maceración podemos diferenciar dos tipos; los que contienen las enzimas necesarias para la conversión del almidón (malteados) y los que se aprovechan del exceso de enzimas contenidas en la cebada malteada.

La cantidad de adjunto no malteado que soporta la cebada durante la maceración depende de la maceración y del tipo de cebada empleada (dos o seis carreras) [9].

- Arroz: Es un adjunto muy empleado en la industria cervecera debido a su gran contenido en almidón (rendimientos de hasta el 90 %). La variedad no aromática es la empleada en cerveza, produciendo cervezas suaves y con carácter seco.

Se hierven antes de la maceración por su alta temperatura de gelatinización (T a la cual los gránulos de almidón se empiezan a hinchar por solubilidad en agua y aumentar su viscosidad para la producción de las enzimas amilosa y amilopectina), como se puede observar a continuación en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Rango de T de gelatinización de distintos cereales

Cereal	Temperaturas de gelatinización (°C)
Cebada	51-60
Trigo	58-64
Centeno	57-70
Avena	53-59
Maíz	62-72
Sorgo	68-78
Arroz	68-78

- Maíz: Es el adjunto más empleado junto al arroz para las cervezas de tipo Pilsen. Su uso se puede dar en dos formas; en copos que se añaden directamente al macerado o en sémola (por molienda) que requiere de un calentamiento previo al igual que el arroz. Produce una cerveza clara y las cantidades pueden llegar al 50 % del extracto total.
- Cebada: La cebada se emplea también sin maltear como adjunto en muchas cerveceras en forma de grano, copo o directamente almidón. Estabiliza la espuma gracias a los betaglucanos, aunque en sabor no se han encontrado grandes diferencias entre una cerveza 100 % malta y una cerveza con cebada sin maltear.
- Sorgo: Es un cereal muy empleado en bebidas fermentadas africanas y latinoamericanas. Presentan una gran resistencia a condiciones extremas y una composición química similar al maíz.
- Trigo: Es un cereal sin maltear muy empleado para cervezas turbias con sabor a grano crudo. Presentan una T de gelatinización del almidón menor que el arroz o el sorgo, como podemos observar en la *Tabla 18*, por lo que se puede añadir directamente al macerado.
- Avena: Tienen un bajo contenido en almidón y grandes cantidades de proteínas y grasas. No se emplea como malta cervecera debido a la untuosidad y aspecto pegajoso que producen, aunque aportan una suavidad y un sabor que la hacen ser un cereal empleado en cervezas como la Stout.
- Centeno: Es un cereal que da un sabor característico en la cerveza. Tiene difícil lavado y es empleado normalmente más como adjunto que como cereal principal malteado.
- Espelta: Es un cereal malteado para dar sabor y aroma herbáceo a la cerveza, aunque no se debe sobrepasar un contenido del 30% del extracto, ya que produciría una cerveza demasiado aromatizada.

Todos estos cereales se pueden comportar como adjunto a la malta, aunque la avena, el trigo y el centeno también son empleados como malta cervecera, ya que son capaces de producir azúcares fermentables a partir del almidón contenido.

• Adjuntos añadidos en la cocción

Además de los cereales que contienen almidón reproducible en azúcares fermentables, hay una serie de adjuntos que se añaden al hervidero una vez se ha macerado el mosto, lo que se conoce como adjuntos de olla.

Dentro de este tipo de adjuntos podemos encontrar diferentes variedades de sirope, miel o azúcares directamente. Contienen glucosa, fructosa, maltosa, maltotriosa y dextrinas en diferentes cantidades según el tipo y variedad y su proporción respecto al extracto final suele ser en torno al 10 %.

Se pueden añadir a la caldera junto al mosto durante la cocción, bajando la T de cocción mientras se produce la disolución de los azúcares añadidos, o bien extrayendo parte del mosto de la caldera y volver a introducirlo una vez se ha disuelto el adjunto.

6 EL PROCESO DE FABRICACIÓN

Cada fábrica de cerveza tiene sus propios métodos de producción y equipos específicos para la cerveza a elaborar, según el tipo y la cantidad deseada de cada producto.

Sin embargo, todas ellas tienen un esquema común de fabricación, que se puede desglosar en estos cinco grandes bloques de producción cervecera:

- Malteado
- Fabricación del mosto
- Fermentación y maduración
- Filtración
- Carbonatación, estabilización y envasado

6.1. Esquema general de producción

La industria cervecera tiene una serie de etapas en común, independientemente de los equipos, propios de cada fábrica (principal y auxiliar) o de la receta de cada una [11].

Se puede resumir en las siguientes fases:

1. Recogida, selección y limpieza del grano de cereal (malta y adjuntos no macerables).
2. Almacenamiento en silos y molturación.
3. Macerado de la harina de cereal con agua (formación del substrato fermentable).
4. Filtración y separación del mosto cervecero del bagazo (subproducto formado por partículas y sustancias sólidas residuales).
5. Cocción del mosto y adición de lúpulo y adjuntos no macerables (siropes, miel, etc) para la detección enzimática y la formación de sabor y aroma.
6. Clarificación y precipitación de las sustancias proteínicas mediante un remolino o *whirlpool*.
7. Enfriamiento del mosto hasta la T de siembra de las levaduras y aireamiento estéril para el crecimiento de éstas.
8. Fermentación alcohólica del mosto (formación de alcohol y dióxido de carbono).
9. Almacenamiento y guarda en frío del producto para la decantación de las levaduras y compuestos generados enturbiantes en la cerveza.
10. Filtración y carbonatación de la cerveza.
11. Envasado y transporte.

En la *Figura 14* se muestra un esquema elemental de las fases que conforman el proceso de elaboración en la industria cervecera a partir de la malta abastecida.

Hay que tener en cuenta que todas ellas forman parte de los 5 grandes bloques mencionados anteriormente en los que se puede dividir el proceso, y que existe variación en cada fábrica según el tipo de cerveza producida o el grado de automatización y mano de obra existente.

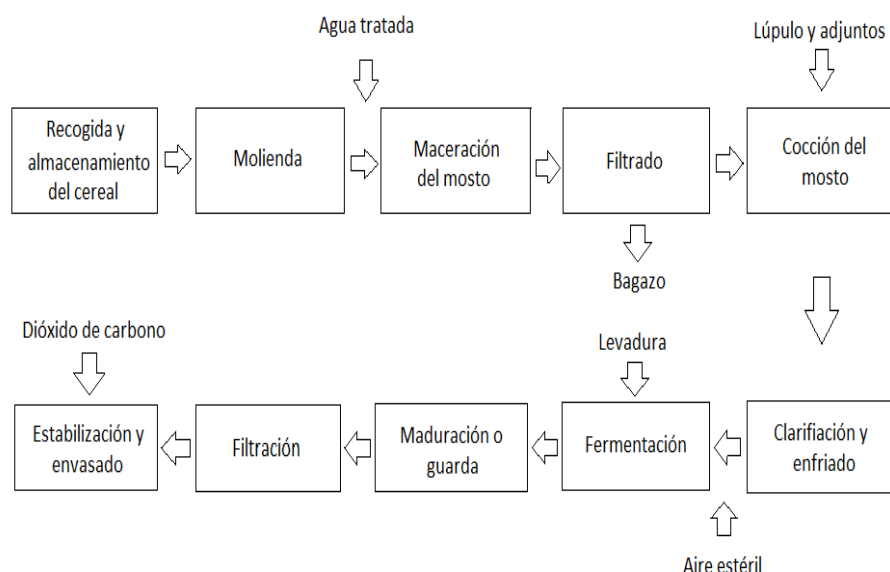


Figura 14. Diagrama general de la elaboración de cerveza

Estas etapas de elaboración pueden cambiar su orden y su presencia según la cerveza que se deseada, el tipo de fábrica existente o los equipos empleados para ello.

En el caso de las pequeñas cerveceras que elaboran cervezas artesanales, como es el caso de la planta a diseñar en el proyecto, no se realiza una filtración con un equipo industrial como tal, ya que de esta forma se perderían las levaduras y otros productos con carácter organoléptico que aportan cuerpo y sabor a la cerveza.

Gracias a la levadura, la cerveza realiza una tercera fermentación en botella, generando continuamente anhídrido carbónico gracias al resto de azúcares fermentables existentes en el producto, lo que permite mantener su presión y espuma.

Por ello, la cerveza no sufre un proceso de carbonatación industrial, ni una etapa de estabilización microbiana que elimine la levadura y demás microorganismos que aportan cualidades nutritivas a la cerveza, ricas en vitaminas y minerales, consiguiendo así una cerveza natural y beneficiosa para la salud.

6.2. Malteado

El malteado es el proceso de formación del sistema enzimático del cereal capaz de convertir el almidón en azúcares fermentables. Es una etapa fundamental en la elaboración de cerveza, ya que produce las sustancias requeridas por la levadura para su catabolismo, en el que se origina el alcohol y el dióxido de carbono. El proceso malteado del grano se puede clasificar en las siguientes etapas [11]:

- Recepción, almacenamiento y limpieza del grano
- Remojado
- Germinación
- Secado y tostado

• Recepción, almacenamiento y limpieza del grano

Los granos de cebada llegan a la cervecera en voluminosos medios de transporte (ferrocarril o por carretera). Ya recogidos, se almacenan en silos con un sistema de control que garantice su buen estado, manteniendo el cereal en su interior con una humedad del 14-16 % y una humedad relativa menor al 70 %.

Con ello se evita la reproducción de hongos que agoten la materia seca del cereal. La temperatura durante el almacén se regula por aireación para que no supere los 17 °C.

Antes de su remojo, el cereal se limpia mediante tamices y separadores capaces de eliminar toda impureza de la masa de cereal (polvo, piedras, trozos de cereal, etc). El control del tamaño y uniformidad se realiza mediante separadores de diversos tipos, asegurando una germinación uniforme del cereal. Se realizan además inspecciones de calidad, comprobando no solo su capacidad de germinar y producir las enzimas, sino la viabilidad del embrión para la germinación inmediata, estable y uniforme, además de diversas pruebas como el contenido en nitrógeno y proteína.

- **Remojado**

Para preparar la germinación, el grano se hidrata mediante remojo de tal forma que la humedad contenida en el cereal pase del 14-16 % mencionado antes a una humedad en torno al 45 % (42-44 % para malta clara y 44-46 % para malta oscura).

Se puede llevar a cabo de dos formas; por sumersión o por aspersión. En el primero de ellos se introduce la cebada en grandes depósitos de agua alternando una etapa de sumersión y emersión.

Cuando se sumerge, el cereal se hidrata y se oxigena con aire comprimido, mientras que cuando emerge se renueva el aire y se expulsa el dióxido de carbono y el calor producido durante la respiración del grano en el agua.

En el caso del remojo por aspersión, se coloca la cosecha de cereal a la intemperie y se lleva a cabo un regadío en el que la cebada se humedece y respira aire ambiente. La temperatura de remojo ocurre entre 12 y 18 °C durante 40-60 horas, obteniendo un cereal al que se le ha activado las raíces nacientes y el germen. Una vez terminado, el cereal está preparado para desarrollarse durante la germinación y producir las enzimas necesarias.

Con ello se consigue además una limpieza del grano, eliminando los posibles microbios y polifenoles indeseados de la cubierta del cereal.

- **Germinación**

El proceso de germinación del grano de cebada comienza durante su remojo con agua, cuando aparecen las primeras raíces del cereal y se dan las primeras roturas de la cubierta, aunque no se considera dentro de la fase de germinación al no producirse su inicio de forma controlada.

Una vez activado, el germen se desarrolla y se produce una serie de modificaciones bioquímicas en el interior del grano que dan lugar a la activación y el desarrollo de diversas encimas, objetivo fundamental de esta etapa.

Para llevar a cabo el crecimiento enzimático y el desarrollo general del grano de cebada se pueden realizar diferentes métodos:

- Malteado en eras: Es el mecanismo tradicional de germinación de un cultivo de cereal. Para ello se dispone de eras (terreno firme y limpio para trabajar con productos agrícolas) en diferentes pisos en los que se esparce el grano húmedo, en condiciones de aireación casi saturada de humedad y a una temperatura que no debe exceder los 16 °C, motivo por el cual se lleva a cabo durante los 8 meses más fríos del año.

Se torna el cereal cada cierto tiempo, para así renovar el aire y eliminar el dióxido de carbono producido, y suelen presentar duchas para evitar pérdidas de agua por evaporización.

Se deja germinar durante 8-10 días, momento en el que el tamaño de la plúmula (parte del embrión que al desarrollarse da el tallo) alcanza el tamaño del grano, y las raíces que han crecido aparecen marchitas (lo que se conoce como malta verde), como se observa en la *Figura 15*.

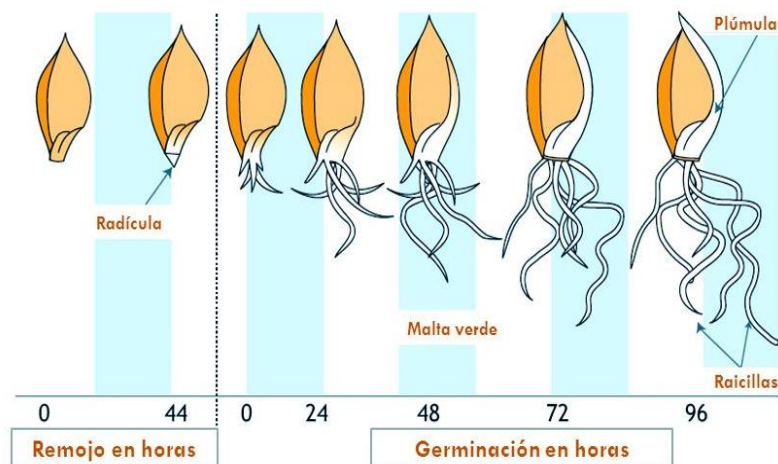


Figura 15. Proceso de germinación del grano de cebada (V Largo)

- **Malteado neumático:** Es más empleado que el sistema tradicional, ya que ocupa 1/6 del volumen de la era y requiere de la mitad de mano de obra gracias a su sistema automatizado. Consiste en hacer pasar una corriente de aire por una capa de cebada de menos de 1 metro de espesor, a una temperatura de 12 °C, 3-4 °C menos que la que tiene el grano, evitando pérdidas de agua por desecación.

Tiene la ventaja de no depender del clima ya que no se ve afectado por las pérdidas por evaporación. Se puede dar por dos mecanismos diferentes:

- **Malteado en tambores:** Es un equipo con forma de cilindro rotatorio perforado por donde entra el aire desde abajo, atravesando la capa de cebada remojada. Tiene un sistema de rotación de 15-60 min por vuelta gracias a un tornillo sin fin unido a una corona dentada situada en la zona exterior, realizando una rotación con frecuencia regular para la germinación homogénea del cereal.
- **Malteado en cajas:** Son cajas generalmente rectangulares de altura 180 cm y longitud-anchura 5:1, donde se germina una capa de cebada de 0,7-1,2 m de profundidad sobre un falso fondo que contiene debajo una rejilla por donde el aire húmedo atraviesa el cereal.

Se esparce por un brazo, como se observa en la *Figura 16*, que trabaja a una velocidad de remoción de 0,4-0,6 m/min cada 12 h. Presentan una malta de mayor calidad que en el malteado en eras.



Figura 16. Caja de germinación de cebada cervecera (Damm, 2009)

- **Secado y tostado**

Una vez desarrollado el germen, se seca el cereal para detener la acción y crecimiento enzimático. Es una etapa esencial ya que se producen reacciones que dan lugar a una serie de azúcares y proteínas que proporciona a la malta un sabor y aroma que definirá en gran parte el producto final [12].

Para llevarlo a cabo se emplean hornos y torres de secado como la que se observa en la *Figura 19*, capaces de reducir de un 44-46 % a un 3-5 % la humedad del cereal desarrollado, conocido como malta verde.

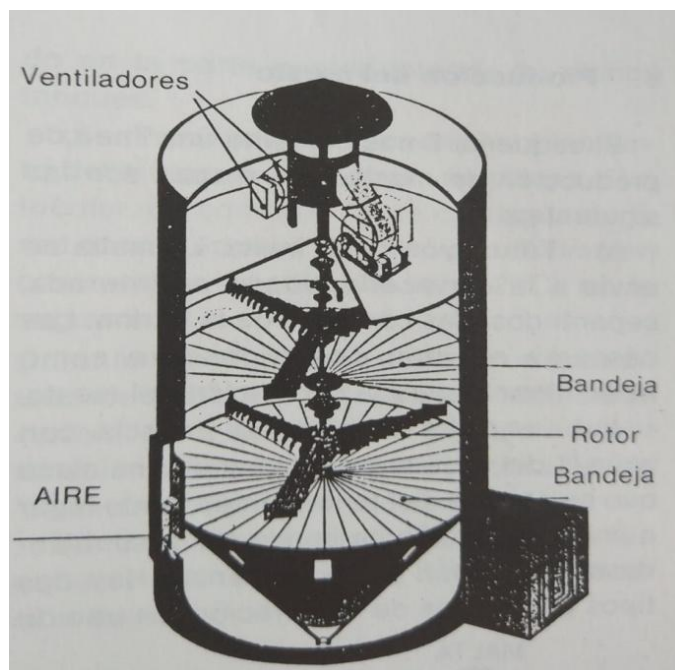


Figura 17. Torre de secado y malteado granos de cebada (J.S.Hough, 1990)

La torre está compuesta de dos bandejas, una situada en la parte superior y otra en la parte inferior. La capa de malta verde se sitúa en la bandeja superior y el aire atraviesa el cereal húmedo a una temperatura máxima de 45-55 °C durante unas 24 h, reduciendo su contenido en humedad hasta el 8-10 %.

Una vez realizado, la cebada pasa a la segunda bandeja, por la cual circula una corriente de aire caliente durante otras 24 horas, aumentando su temperatura hasta unos 80 °C.

Durante las 3-4 últimas h, la malta se tuesta con un aire que, según el color más o menos oscuro de la malta que se deseada, ha aumentado su temperatura hasta los 80-90 °C.

El aire se introduce por la zona inferior de la torre como se puede ver en la *Figura 19*, y se calienta con gas natural. Una vez atravesada la bandeja inferior, se mezcla con aire fresco hasta los 45-55 °C mencionados antes.

Tras atravesar la capa de cebada de la bandeja superior sale saturado de humedad a 26-30 °C y se extrae por la parte superior mediante aspiración con ventiladores situados en la plataforma superior de la torre, consiguiendo así su salida y recirculación.

Tras un enfriamiento final, la malta tostada sale de la torre con una humedad del 3-4 %. Esto permitirá conservarla durante varios meses en condiciones para su transporte a la cervecera (factoría separada generalmente de la maltería) y su almacenamiento previo a su uso.

En la *Figura 18* se muestra el proceso de malteado desde que se recoge la cebada hasta que se tuesta y se prepara para su abastecimiento a la cervecera.

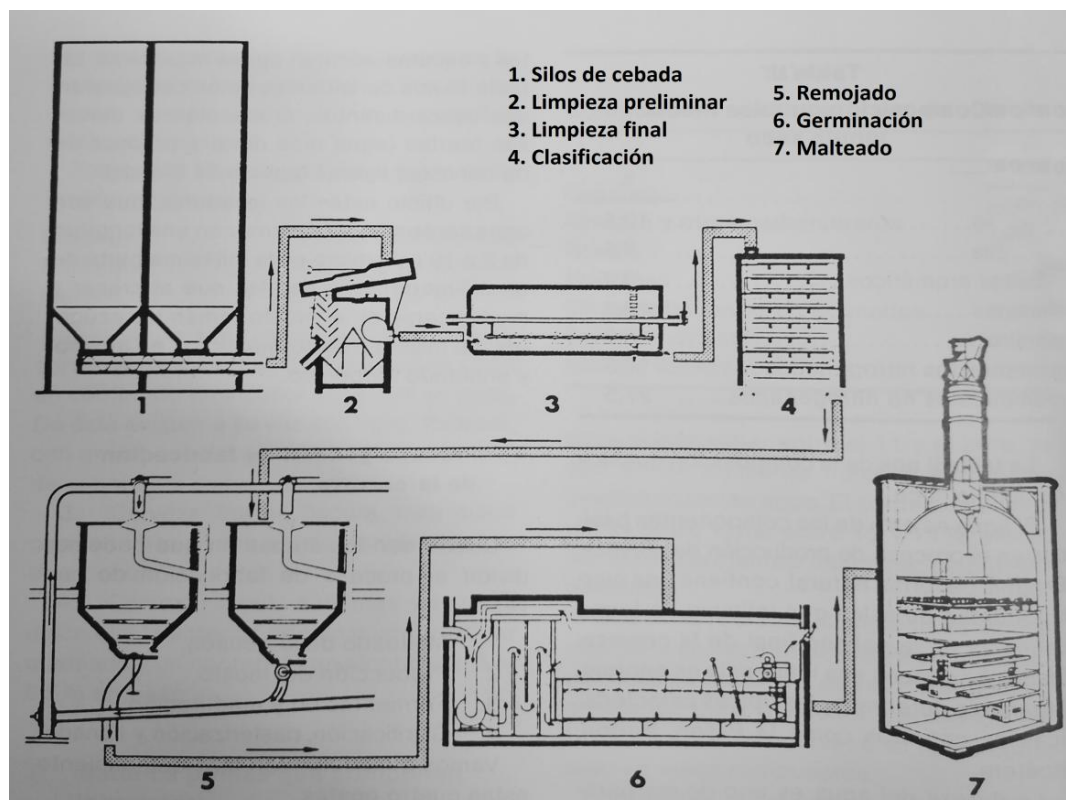


Figura 18. Proceso general de malteado de cebada (J.S.Hough, 1990)

6.3. Fabricación del mosto

La malta se suele almacenar en silos por elevación, limpiándola así de polvo, objetos extraños y restos metálicos que produzcan chispa al chocar con los componentes del equipo. Los silos tienen paredes lisas y fondo cónico, generalmente de acero inoxidable u hormigón y en ellos se mantiene la malta a una temperatura entre 10 y 15 °C, con la finalidad de mantener constante su humedad con un contenido en agua del 2-5 %.

Con ello se evita el desarrollo de insectos que pueden contaminar la malta y empeorar la calidad del producto. Para detectar la presencia de cualquier tipo de microorganismo se colocan termosensores en el interior del silo, así como equipos de desinfección química. Para eliminar el polvo retenido en la cebada malteada se emplean ciclones, así como filtros que lo retengan durante su uso. Una vez almacenada, la planta comienza el proceso de fabricación del mosto, dividido en las siguientes fases:

- Molturación de la malta
- Maceración con agua
- Filtración del mosto
- Cocción del mosto
- Clarificación, enfriamiento y aireación

• Molturación

La finalidad de la molienda es triturar el endospermo de la malta para liberar las enzimas, proteínas y demás sustancias que lo componen y obtener una recuperación eficaz del mosto dulce.

Para garantizar la liberación de los componentes de su interior, las partículas de endospermo obtenido tienen un tamaño mínimo de molturación, ya que una partícula demasiado pequeña implica la obtención de una harina compacta que forma un lecho impermeable, lo que dificulta y ralentiza la obtención del mosto.

Sin embargo, la cascarilla del cereal debe estar lo menos triturada posible, ya que facilita el proceso de filtración y separación del mosto del residuo sólido (bagazo). Además, con ello se evita la liberación de sustancias tánicas, indeseables en exceso en la cerveza.

El tamaño y grado de la molienda depende por tanto del equipo empleado, y su proceso se puede llevar a cabo en la industria de dos formas; por molienda seca o por molienda húmeda.

➤ Molido en seco

La molienda en seco se realiza principalmente con dos equipos; el molino de dos pares de cilindros, utilizado para malta de cebada bien desagregada, y el molino de tres pares de cilindros, empleado en principio para malta menos desagregada y con extremos y cascarillas más resistentes y duras, aunque hoy en día es más común también para malta menos compleja, ya que permite mayor flexibilidad de trabajo.

Ambos funcionan de la misma manera, con cilindros que giran en sentido contrario, lo que consigue la trituración de la cáscara y del endospermo a un tamaño que varía según la distancia entre cilindros.

Entre los pares de cilindros se encuentra un tamiz doble para separar la malta triturada con el tamaño deseado de la que se pretende seguir moliendo. La malta de cebada debe estar seca para no adherirse a los rodillos y del paso por el primer tamiz se obtienen tres fracciones, como se observa en la *Figura 19*.

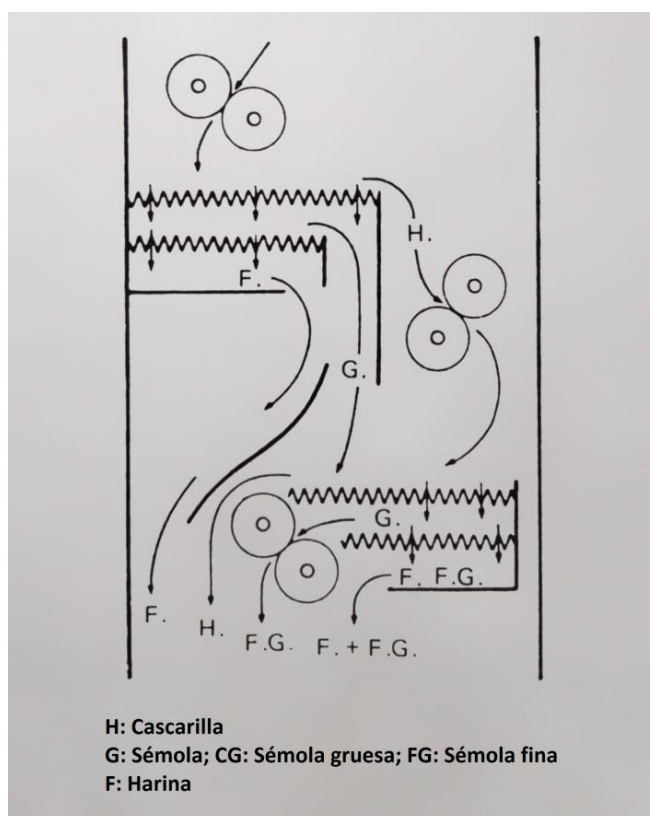


Figura 19. Molienda seca con tres pares de rodillos (J.S.Hough, 1990)

- Una fracción de harina que atraviesa las dos mallas y que no sigue triturándose.
- Una fracción de semola que atraviesa la primera malla y no la segunda, pasando directamente al tercer par de cilindros para finalizar su molienda.
- Una fracción de cáscaras rechazo de la primera malla y que pasa al según rodillo para proseguir con su molienda.

Las partículas trituradas de endospermo presentan tamaños de diámetro entre 0,3 y 0,6 mm para sémola gruesa, entre 0,15 y 0,3 mm para sémola fina y menos de 0,15 mm para la producción de harina y la relación sémola gruesa- sémola fina-harina tras el molido en seco suelen ser de 27-35-38 o 24-35-41.

➤ Molido en húmedo

Otra opción es rociar la malta con agua durante 5-10 minutos antes de introducirse en el molino de rodillos, aumentando su contenido en humedad hasta un 28-30 %, lo que le hace ser más flexible y resistente a la fractura. Hoy en día existen métodos de molienda húmeda más avanzados, como el que se observa en la *Figura 20*.

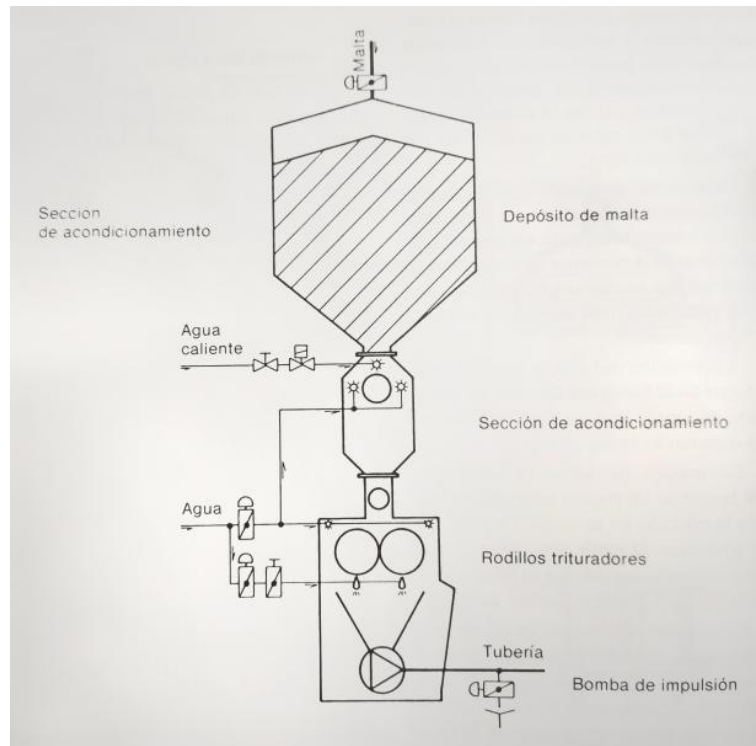


Figura 20. Sistema de molido en húmedo (J.S.Hough, 1990)

En él se dispone de una tolva en la parte superior para almacenar la malta previa a su molido y de ahí pasa a una sección de acondicionamiento, donde la malta se remoja con agua caliente a 75 °C durante no más de 60 s.

Con ello se consigue que la cebada malteada aumente su humedad hasta un 20 %, lo suficiente para que la cáscara sea resistente a la rotura y las partículas harinosas del endospermo se encuentren secas. Una vez humedecida se realiza la molienda mediante un sistema de rodillos similar al molido en seco.

Tras llevarse a cabo la molienda, la masa obtenida de cáscaras y la papilla de partículas liberalizadas del endospermo (enzimas, almidón, proteínas, etc) se vuelve a tratar con agua para adquirir la humedad necesaria para el proceso de maceración, a la cual se trasiega mediante una bomba de impulsión, como se observa en la *Figura 20*.

Este sistema de molido requiere de menos tiempo para la trituración del cereal y tienen rendimientos superiores al método clásico de molienda. Además, se adapta muy bien a los procesos continuos empleados hoy en día para la producción de mosto, cuya fase posterior es la maceración que se explica a continuación.

- **Maceración**

La maceración es el proceso en el que se extrae las enzimas producidas en el malteado y se convierte el almidón gelatinizado en azúcares fermentables, además de la degradación y extracción de otras sustancias orgánicas e inorgánicas. Su objetivo es solubilizar toda la materia hidrosoluble contenida en la malta y demás cereales adjuntos.

De este proceso se obtiene el extracto seco primitivo (ESP), que es el porcentaje de ingredientes orgánicos tanto fermentables como no fermentables presentes en el mosto antes de realizar la fermentación, es decir, toda materia diferente al agua en la mezcla.

El extracto obtenido se mide en g de azúcares disueltos/100 gramos de agua, equivalente a 1 grado plato ($^{\circ}$ P, medida de la densidad utilizada en la industria cervecera) y en él se encuentran las diferentes sustancias que se comportan como nutrientes para el metabolismo de la levadura.

Éstos son los azúcares fermentables, los nitratos de aminoácidos o F.A.N (Free Amino Nitrogen), los minerales o las vitaminas entre otros, además de otras que no puede procesar y que le aportan cuerpo a la cerveza (aúcares no fermentable, dextrinas, proteínas solubles y otras sustancias inorgánicas).

El proceso de maceración o extracción se basa en el control enzimático de la amilasa (enzima encargada de sacarificar el almidón, es decir, transformarlo en maltosa y dextrinas). Para ello se somete la mezcla a diferentes rangos de temperatura, gracias a que las enzimas contenidas en el cereal tienen diferentes temperaturas de activación. El proceso se puede dar de dos formas diferentes:

➤ **Extracción por infusión**

En este caso, el aumento de T se lleva a cabo de forma gradual en un equipo conocido como caldera de braceado/empastado hasta llegar hasta la temperatura máxima (T de sacarificación).

En ella se introduce las sémolas y harinas procedentes de la molienda a través de un tubo doblado en ángulo recto conectado a un hidratador situado en la primera porción vertical del tubo (como se observa en la *Figura 21*), donde se humedece la masa con agua caliente por aspersión.

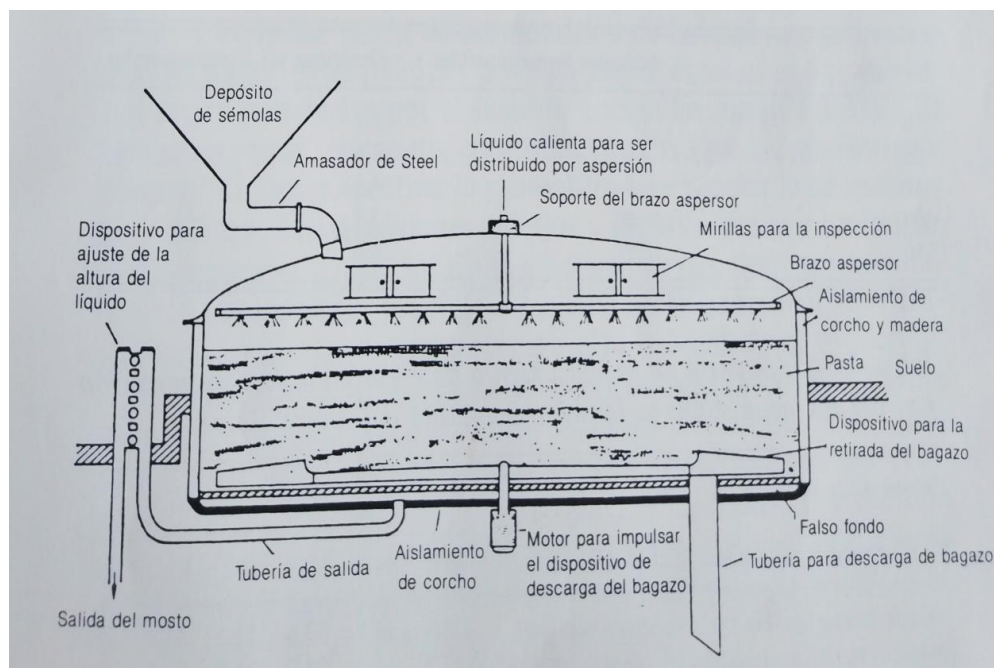


Figura 21. Sección vertical de una caldera de extracción por infusión (J.S.Hough, 1990)

La harina se mezcla y se humedece con la acción de un tornillo sin fin, trabajando a una T óptima entre 62 y 67 °C, lo que se consigue generalmente empleando agua unos 4-5 °C más caliente que la masa molida.

Antes de introducir la papilla espesa, la caldera se calienta y se llena de agua hasta una altura ligeramente por encima de las placas filtrantes, lo que hace flotar la masa diluida al retener aire.

Conforme se hidratan las partículas del endospermo, las enzimas α y β -amilasa degradan las reservas nutritivas de la malta (amilosa y la amilopectina) en azúcares fermentables y dextrinas no fermentables, como se observa en la *Tabla 13* [12].

Tabla 13. Producción de carbohidratos solubles por la acción de las amilasas α y β (g/100 mL)

t (min)	Azúcares fermentables	Dextrinas no fermentables
0	1,1	3,5
25	4,0	2,8
50	6,9	4,3
100	10,8	3,7
150	11,2	4,0

La acción de estas enzimas se controla con factores como la T o el pH. La α -amilasa es más termoestable que la β -amilasa, y sin embargo, soporta peor el medio ácido (ver *Tabla 14*).

Tabla 14. Temperatura y pH óptimos para la extracción por infusión

	T (°C)	pH
Extracto mínimo	65-68	5,2-5,4
Mosto más fermentable	65	5,3-5,4
Actividad α -amilasa	70	5,3-5-7
Actividad β -amilasa	60-65	4,6 (pasta)
Rendimiento máximo en sustancias nitrogenadas solubles	50-55	5,0 (mosto)

De esta forma, aunque se suele buscar un compromiso para la acción de ambas enzimas, el cervecero es capaz de controlar la fermentabilidad del mosto, facilitando la acción de la β -amilasa si quiere que sea alta, como se observa en la *Tabla 15*.

Tabla 15. T de extracción, pH agua y concentración sobre fermentabilidad del mosto dulce

T de extracción (°C)	60		65,6		68,3	
Concentración de la pasta (g/100 mL)	67	39	67	39	67	39
Azúcar fermentable (% de sólidos totales)	73,3	76,1	67,4	71,2	64,4	65,0
Dextrinas no fermentables (% de sólidos totales)	17,5	15,5	24,2	21,2	27,6	26,2
pH del agua de extracción	4,0		4,5		5,5	
Azúcar fermentable (g/100 mL)	8,9		8,3		8,4	

Además de la acción amilolítica de degradación del almidón, existe la exoenzima denominada proteinasa, que trabaja en la degradación de restos de aminoácidos de las cadenas proteicas que no han sido degradadas durante el malteado. Trabajan a un pH óptimo entre 5,2 y 5,7, una T óptima de 50 °C y en masas espesas en las que están mejor protegidas por el sustrato.

Debido a la controversia entre la acción amilolítica del método de extracción (altas temperaturas, altos pHs y masas poco espesas y bien desagregadas) y la acción proteolítica (bajas temperaturas, bajos pHs y masas muy espesas), el cervecero toma una solución de compromiso para llevar a cabo los mejores rendimientos tanto de extracción como en solubilización de aminoácidos y demás sustancias nitrogenadas.

Otra acción enzimática que se puede producir en la extracción por infusión es la producida por la glucanasa, procedente de bacterias y hongos.

Su objetivo es degradar y solubilizar al máximo los β -glucanos presentes en la pared celular del endospermo de la malta, ya que presentan dificultades para ser solubilizados en frío, pudiendo presentar un aspecto gelatinoso al enfriar y envasar el producto antes de ser consumido. Esto puede generar turbidez al producto final, además de dificultar la filtración y separación del bagazo posterior a la maceración.

Esto provoca que el agua arriba y debajo de las placas filtrantes se vaya enriqueciendo de carbohidratos y sustancias nitrogenadas solubles, lo que se conoce como mosto dulce, gracias al uso por aspersión o aspiración de un agua cuya T ya ha alcanzado los 68-72 °C, produciendo un mosto cada vez más débil (más baja densidad del extracto). Cuando la densidad del mosto producido llega a 1005 se deja de añadir agua y se produce su separación, que se explicará en el siguiente apartado.

➤ Extracción por decocción

El sistema descrito anteriormente es sencillo ya que se emplea una sola caldera en la que se produce la extracción y la recuperación del mosto con un aumento constante de la T. Sin embargo, las numerosas reacciones químicas y bioquímicas que se dan en un solo recipiente le dan más complejidad al proceso, lo que le hace ser una extracción empleada cuando la malta cervecera se encuentra bien desagregada.

La malta usada hasta no hace mucho era poco desagregada y el sistema para la extracción del mosto y originario de Alemania era la maceración por decocción, un proceso que emplea una caldera auxiliar (cocedor) en la que se introduce un cuarto de la harina y sémola empleada en la caldera de empaste (conocido como temple) y se somete a ebullición.

Su extracción de la caldera inicial se produce a 40 °C y una vez cocido, se introduce de nuevo en la caldera de braceado, aumentando la T de la mezcla total hasta los 54 °C. Una segunda ebullición producirá un aumento de la mezcla hasta los 65°C y una tercera hasta los 75°C.

Es un sistema que permite llevar la maceración en varias condiciones de temperatura, favoreciendo cada operación en diferentes momentos (de 40 a 54 °C se favorece la proteólisis, de 54°C a 65°C la hidrólisis del almidón y cuando la Tª alcanza los 73°C se separa el mosto, como se observa en la *Figura 22*).

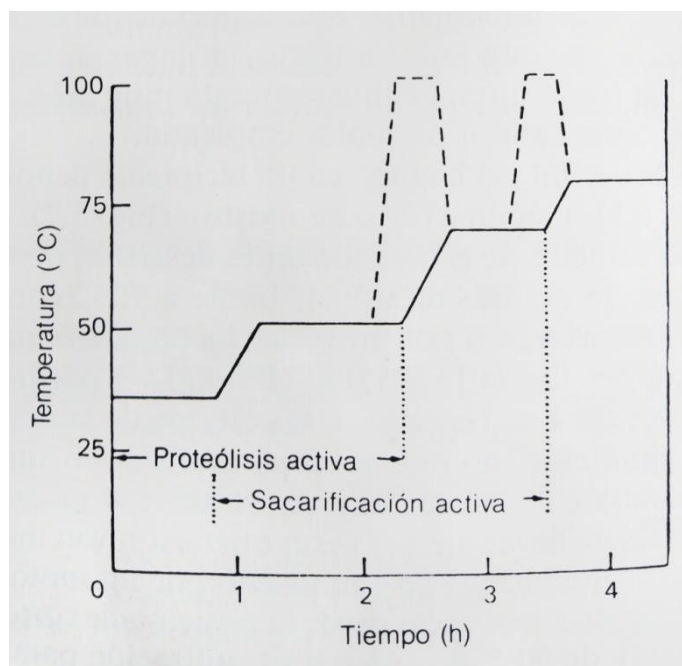


Figura 22. Cambios térmicos durante la maceración por decocción (J.S.Hough, 1990)

Actualmente la extracción por decocción presenta un sistema avanzado en el que se reduce el número de cocciones a una o dos (se extrae un tercio del temple en cada una) y se aumenta la T inicial de extracción, una respuesta rápida ante la mayor “desagregación” de las maltas actuales.

• Filtración

En la maceración por infusión, la masa en suspensión se va enriqueciendo del grano agotado y de las sustancias insolubles que conforman el residuo o bagazo del mosto, subproducto generado tras la filtración del mosto y que tiene un contenido en materia seca del 20-25%. Es rico en proteínas y fibras, empleándose principalmente como alimento animal y se arrastra mediante un dispositivo activado por un motor hacia la tubería de descarga, como se observa en la *Figura 23*.

El macerado por decocción dispone de un sistema de filtrado que puede ser una cuba filtro o un filtro prensa, a diferencia de la caldera de infusión, que realiza la extracción y la recuperación del mosto en un solo depósito.

La cuba filtro requiere de un sistema de bombas de impulsión y para facilitar su drenaje se emplean paletas impulsadas con un motor eléctrico, que rascan la papilla pegada en las paredes del filtro y extraen el bagazo generado en él.

Por su parte, el filtro prensa es menos voluminoso y permite operar con un mosto con molienda más fina. Hoy en día son más usados debido a su mecanismo automático de apertura y cierre y a su fácil limpieza. En la *Tabla 16* se muestran las principales características de ambos.

Tabla 16. Comparativa entre cuba filtro y filtro prensa

	Cuba filtro	Filtro prensa
Tiempo filtración	3	1,5-2,5
Tipo de molienda	Media	Fina
Espacio ocupado	Moderado	Escaso
Simplicidad mecánica	Moderada	Compleja
Claridad del mosto	Moderada	Escasa

- **Ebullición**

El mosto filtrado se lleva a ebullición (se alcanza la T de 100 °C) en una caldera como la que se muestra en la *Figura 23*. Se realiza durante un tiempo de 60-90 min y trabaja generalmente a presión atmosférica.

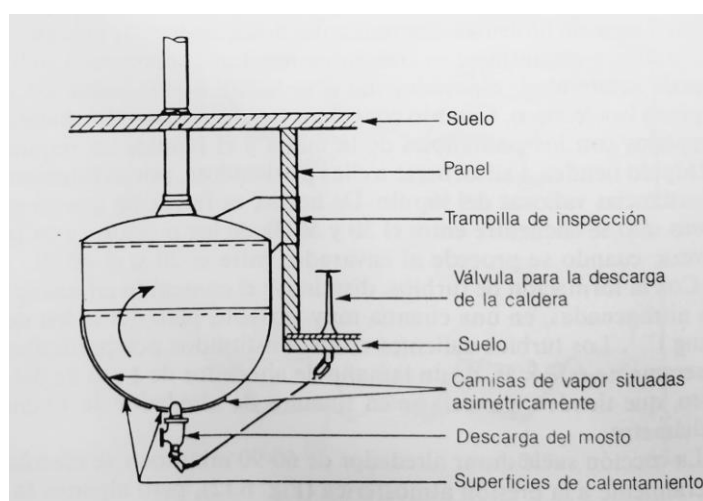


Figura 23. Sección vertical de una caldera de ebullición de mosto (J.S.Hough, 1990)

Los objetivos principales de esta etapa son:

- Detener la actividad enzimática y conversión de proteínas y almidón (evitando una cerveza seca y sin cuerpo) y esterilizar el mosto por la vulnerabilidad de los microorganismos a estas temperaturas.
- Coagulación de proteínas (inestables al calor) por la presencia de taninos e iones como el calcio o metales pesados, además de una precipitación del fosfato cálcico y su consiguiente caída del pH.
- Destilación de productos volátiles y evaporación del agua (aumento de la densidad del mosto).
- Producción de color y aromas por caramelización de azúcares, formación de melanoidina y oxidación de taninos.
- Extracción de sustancias de la resina del lúpulo, lo que confiere a la cerveza el clásico sabor amargo, y adición de taninos y aceites esenciales contenidos en la lupulina del mismo.

Además de lúpulo se pueden añadir otros extractos (adjuntos no macerables) como azúcares y jarabes de cereales, con lo que se consigue abaratar costes de extracción, aumentar la densidad del mosto o diluir el nitrógeno presente en él, consiguiendo un aroma más suave de la cerveza.

Hay calderas de ebullición con sistemas de calentamiento a 140°C y presión positiva, como el que se muestra en la *Figura 24*, que favorecen la pérdida de compuestos volátiles, ahorran tiempo de cocción y tienen enormes ganancias a nivel económico y energético.

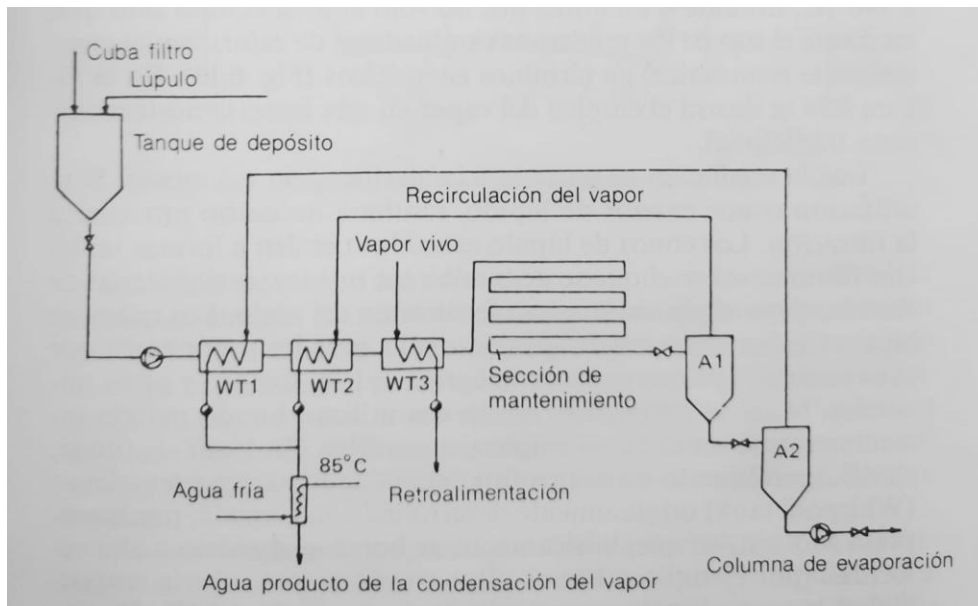


Figura 24. Diagrama de flujo de una caldera de cocción de mosto (J.S.Hough, 1990)

La caldera de ebullición trabaja generalmente en discontinuo, como el resto de la industria cervecera, y es el equipo con mayor consumo térmico en la planta. Tiene un gasto energético en torno a los 60 MJ/hL, repartido en un 30 % para el precalentamiento y un 70% para la ebullición. con un aporte energético es generalmente de forma indirecta con vapor de agua mediante un intercambiador de calor, calentando el mosto en distintas fases hasta alcanzar la temperatura de 140 °C.

- **Clarificación, enfriamiento y aireación**

Cuando se emplea conos de lúpulo en la cocción, sus restos se emplean como lecho filtrante del mosto. Se comporta como una esponja que absorbe las sustancias precipitadas durante la ebullición. Sin embargo, hoy en día es más frecuente el uso de lúpulo molido o en pastillas y una posterior clarificación mediante lo que se conoce como “tanque remolino” o *Whirlpool tank* y que se muestra en la *Figura 25*.

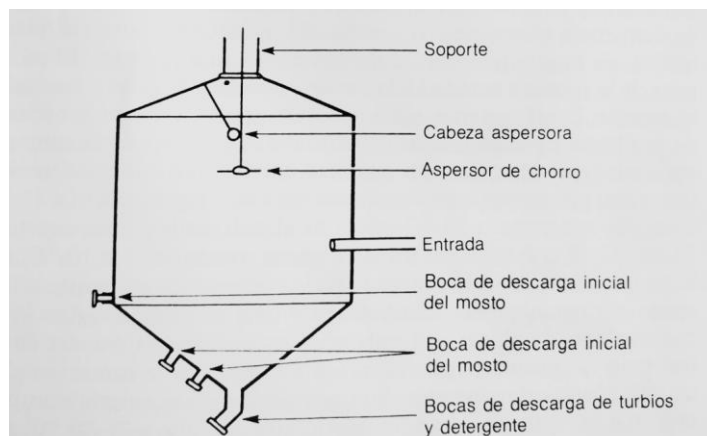


Figura 25. Corte vertical de un Whirlpool tank de base cónica (J.S.Hough, 1990)

Es generalmente de acero al carbono y presenta una relación diámetro altura 1:2-3. Tienen una tubería tangencial en las paredes por la que se bombea y circula el mosto a 1/3 de la altura y a una determinada velocidad. Debido a las fuerzas de rozamiento, el mosto circula hacia abajo y hacia el centro, provocando la decantación de los sólidos en centro de la base. El mosto se vuelve a impulsar hacia arriba para repetir la ruta, y una vez transcurridos 20-45 minutos, se puede retirar el mosto clarificado, limpio de turbios y restos de lúpulo.

El inconveniente principal de este equipo es la pérdida de mosto por el inferior, y el uso de agua de lavado que requiere para arrastrar los fondos, lo que supone un incremento de la carga de efluentes en la cervecera.

El mosto clarificado requiere disminuir su T hasta la T de siembra de la levadura para facilitar la fermentación alcohólica. Antiguamente se empleaban recipientes cargados de mosto y abiertos a la atmósfera mediante múltiples poros. Se colocaban en la parte superior de la planta y se enfriaban gracias a la evaporación del agua, que salía por los poros y ayudaba también a la aireación. Su principal inconveniente era la contaminación por el aire que penetraba en el recipiente (insectos, volátiles de origen industrial, polen, etc).

Por ello, se comenzaron a utilizar intercambiadores de calor compuestos de tubos refrigerados por los que se circulaba el mosto. A día de hoy el más empleado en la industria cervecera es el intercambiador de placas, cuya disposición se observa en la *Figura 26*.

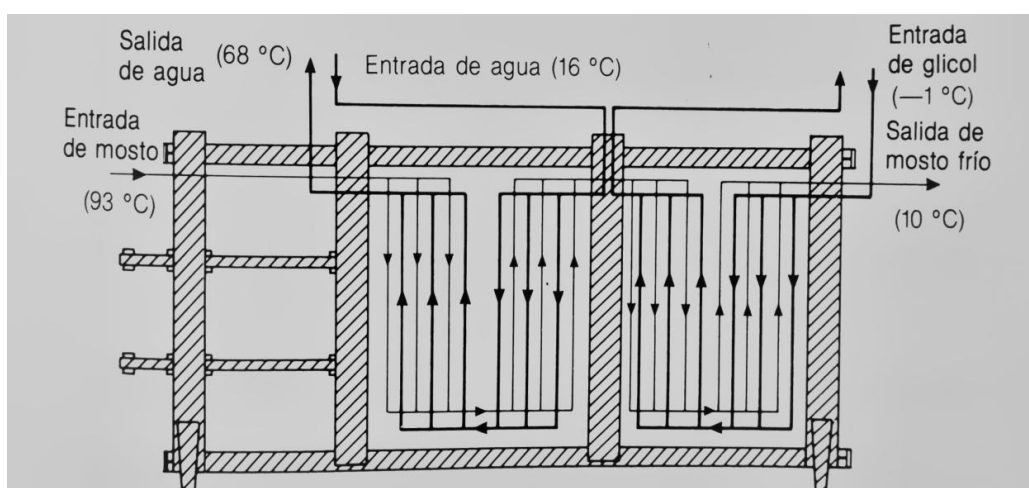


Figura 26. Corte vertical de un intercambiador de placas para enfriamiento mosto (J.S.Hough, 1990)

Consta de una serie de placas de acero inoxidable moldeadas por presión mecánica, de tal forma que entre cada dos placas quede una cavidad. De esta forma, el mosto se introduce por la primera cavidad y circula por la tercera, la quinta y así hasta salir del intercambiador enfriado de unos 90-95 °C a 15 °C por un refrigerante como el agua, que se introduce por la última cavidad a unos 15 °C y sale por la antepenúltima a unos 65-70 °C.

Los intercambiadores de placas son equipos compactos, higiénicos y muy eficaces en la transferencia de calor y su mayor inconveniente es la formación del turbio frío compuesto de partículas con un tamaño tan reducido que su precipitado resulta problemático.

Además, se adhieren a las células de levadura, lo que provoca una menor superficie de contacto entre ellas y por tanto, un menor ratio de fermentación.

Para facilitar el crecimiento y desarrollo de las células de levadura, el mosto necesita airearse en una cantidad que varía entre 5 y 15 mg/mL de mosto. El aire aporta máximo 8 mg/mL de oxígeno disuelto y algunas levaduras requieren de mayor cantidad. Por ello, la mayoría de cerveceras utilizan corrientes de aire estéril u oxígeno.

En la *Figura 27* se muestra un resumen gráfico del proceso de fabricación del mosto, desde que se mezcla la malta triturada con agua para la maceración hasta que se enfría y airea el mosto para prepararlo para la fermentación.

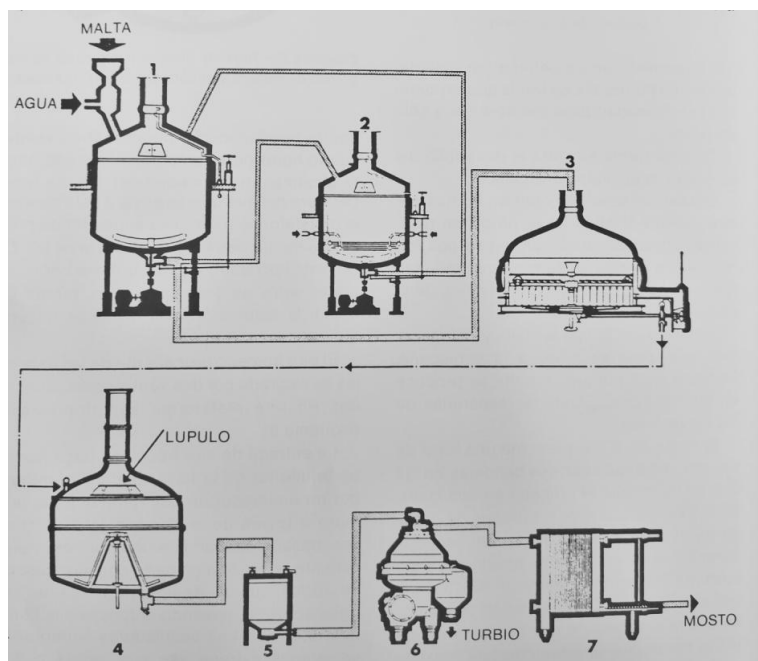


Figura 27. Línea de producción de mosto (J.S.Hough, 1990)

En ella se puede observar los 7 equipos principales; la caldera de empaste o braceado, donde se realiza la extracción por infusión de la malta molida con agua (1), la caldera de decocción (2), la cuba filtro, donde separa el mosto del bagazo (3), la caldera de ebullición, donde se esteriliza y se lupuliza el mosto entre otras funciones (4), el tamiz de lúpulo, donde la cáscara de este mismo se comporta como lecho filtrante (5), el tanque remolino o Whirlpool, donde se clarifica el mosto y el intercambiador de calor, donde se enfría y se airea con oxígeno estéril previo a su fermentación por parte de la levadura cervecera.

6.4. Fermentación y maduración

La fermentación (explicado al comienzo de la memoria descriptiva) produce transformaciones que dependen fundamentalmente de las condiciones dadas y de la cepa de levadura empleada. Por ello, es muy importante hacer una correcta selección de la cepa de levadura basándose en factores como los explicados a continuación.

• Selección de cepas de levadura

En la industria cervecera hay una serie de factores a tener en cuenta a la hora de elegir el tipo de cepa de levadura correcta según la cerveza que deseamos elaborar:

- Producción de bouquet (contribución aromática del lúpulo) y aroma deseable en la cerveza. Es difícil relacionar parámetros de la levadura con el bouquet y el aroma, ya que a ello también afecta la materia prima y las técnicas de elaboración empleadas.
- Capacidad de propagación durante la fermentación una vez llevada a cabo su inoculación (factor de multiplicación de al menos 3-5).
- Estructura química, ya que producirá un final de fermentación en la superficie o en el fondo del fermentador, lo que afectará a las principales características atribuidas al producto final.
- Buenas condiciones de separación del mosto tras la fermentación.

Estos factores se tienen en cuenta durante la selección de la cepa en la base del fermentador a pequeña escala. Sin embargo, la cantidad e incluso la calidad de los resultados obtenidos difieren en tanques de diferente volumen, lo que presupone un problema para el cervecero a la hora de la selección de la cepa correcta.

- **El cultivo de levadura**

Las levaduras cerveceras presentan una gran estabilidad genética debido a que no tienen ciclo sexual, por lo que una célula crece y produce células de levadura idénticas con unas características fermentables intactas. Esto le permite al cervecero tener una cerveza reproducible en el tiempo, siempre que conserve el cultivo y lo propague adecuadamente hasta la cantidad necesaria para la inoculación en el tanque de fermentación.

La propagación del cultivo de levadura se realiza en condiciones estériles y en dos etapas, aislando las células bajo condiciones libres de contaminación. En la primera etapa la propagación se produce en laboratorio hasta una población capaz de obtener 5-10 L de cerveza verde en estado de fermentación vigorosa (alta capa de espuma). La segunda se lleva a cabo en planta hasta la cantidad necesaria para la fermentación en el tanque y ambas necesitan fundamentalmente oxígeno, aminoácidos y oligoelementos para su multiplicación.

Para la obtención de la levadura apropiada se aíslan gotas con diferentes células en estado de fermentación vigorosa bajo un microscopio, y se dejan crecer a 8-10 ° C. Una vez desarrolladas, se selecciona la colonia más fuerte con una tira de papel filtrante estéril y se mezcla con 5 mL de mosto estéril en un recipiente. Se deja propagar el cultivo hasta una relación 1:10, que será cuando se pase a laboratorio.

La propagación en laboratorio ocurre por transferencia a recipientes cada vez de mayor tamaño, comenzando con los 5 mL del mosto junto con la colonia contenida y siempre en estado de alta fermentación. Una vez alcanzado los 10 L, el recipiente pasar a ser un matraz conocido como Carlsberg, los cuales están cerrados herméticamente por un medio de sello roscado (4) (5), como se observa en la *Figura 30*.

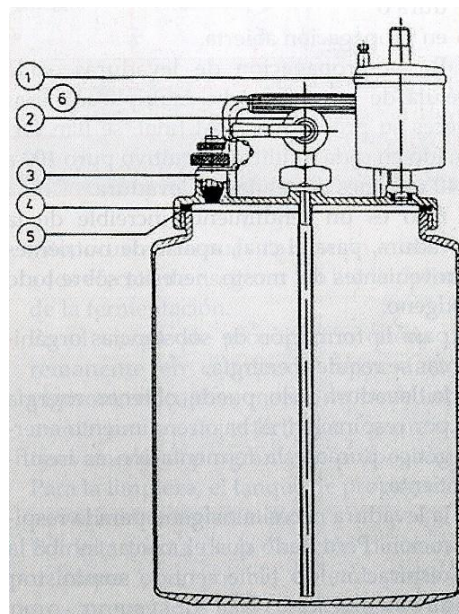


Figura 28. Matraz Carlsberg (J.S.Hough, 1990)

Se realizan inyecciones de 100-200 mL mediante un grifo de muestras (2), conectado con una membrana de gomas (3) al matraz. Cuando llega a la cantidad deseada de células, se le suministra aire comprimido esterilizado previamente con un filtro (1) y regulado con una manija (6).

Una vez realizada la propagación en laboratorio, la levadura se sigue multiplicando en planta hasta una cantidad de 100 a 140 millones de células por cada mL de cultivo puro.

La propagación en la factoría se puede dar en una instalación propia de propagación o de forma abierta (más adecuada para cerveceras más pequeñas, como es el caso de este trabajo).

La propagación abierta tiene diferentes mecanismos posibles para llevarla a cabo, siendo dos de las más importantes la propagación en dos recipientes metálicos cubiertos de una tapadera suelta y la propagación por multiplicación de las células en jarros de leche.

- **Fermentación del mosto cervecero**

El mosto aromatizado con lúpulo es un medio rico para la levadura que se inocula, con sustancias vitales para el metabolismo del microorganismo [11], como se observa en la *Tabla 17*.

Tabla 17. Composición del mosto cervecero

Sustancia	Cantidad (g/L)	Sustancia	Cantidad (g/L)
Fructosa	2,1	Nitrógeno total	0,8
Glucosa	9,1	Aminoácidos del nitrógeno	0,30
Sacarosa	2,3	Aminoácidos totales	1,65
Maltosa	52,4	Componentes fenólicos totales	0,25
Maltotriosa	12,8	Isoácidos α	0,035
Carbohidratos no fermentables	23,9	Iones calcio	0,065

- **Fermentadores**

Los tanques herméticos más usados hoy en día cuentan con sistemas avanzados en el proceso fermentativo (sistemas automáticos de limpieza in situ CIP, control de T por camisas de refrigeración con agua dulce a 0-1 °C o estimulación para la sedimentación de la levadura, recogida de CO₂). El más empleado en la industria cervecera es el tanque cilíndrico de acero inoxidable (como el que se observa en la *Figura 29*), aunque existen cubas de fermentación con otra morfología y material de construcción (madera, aluminio u hormigón).

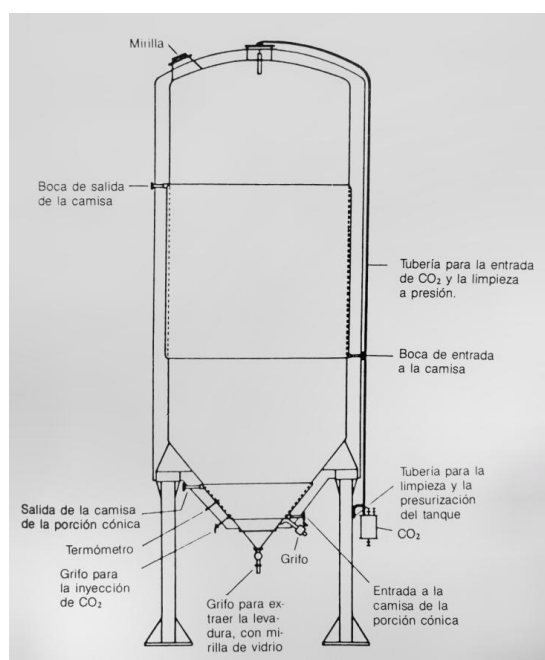


Figura 29. Tanque cilíndrico de fermentación (J.S.Hough, 1990)

Estos tienen una capacidad desde 100 a 4800 hL, una altura de hasta 40 m y un diámetro que puede alcanzar los 10,5 m. Están contruidos por una parte superior cilíndrica y una parte inferior cónica (ángulo de 60-75 °) para facilitar la extracción de levadura depositada y garantizar una óptima limpieza y vaciado del tanque.

La levadura debe ser extraída lo más rápido posible al finalizar la fermentación para evitar su autólisis, lo que influiría negativamente en la calidad de la cerveza. Además, se debe dejar un 18-25 % del tanque vacío para la capa de espuma formada a partir del anhídrido carbónico generado, ya que de lo contrario habría fugas por las tuberías de gas superiores, lo que podría provocar un bloqueo de las válvulas de control.

Los tanques de fermentación deben incluir elementos de control y de mando de llenado y vaciado, válvulas de seguridad, y elementos para el control y la automatización del proceso en general, cuyo material de construcción, estructura y dimensionamiento se especifica en el apartado de cálculos.

- **Maduración, guarda o fermentación secundaria**

El término maduración proviene de la palabra de origen alemán *lager* y hace referencia al proceso que sufre la cerveza para el almacenamiento, el reposo y el envejecimiento del producto final.

El objetivo de esta etapa es finalizar la fermentación del 0,5-1 % de azúcares fermentables existentes todavía, producir la saturación de la cerveza en CO₂ gracias al proceso fermentativo (carbonatación) y producir una evolución organoléptica, formando los sabores deseados y precipitando los sabores y aromas indeseables y presentes en la cerveza verde, consiguiendo una cerveza más clara y sin turbidez.

El proceso de carbonatación es una de las etapas más importantes en la elaboración de una cerveza, ya que realza nuevos sabores en la cerveza, le da frescura y provoca la formación de espuma. El contenido en anhídrido carbónico disuelto varía según la cerveza deseada [13], como se observa en la *Tabla 18*.

Tabla 18. Cantidad de CO₂ disuelto en la cerveza

Estilo de cerveza	Cantidad de CO ₂ (g/L)
Ale británica	2,7-3,9
Porter y Stout	3,3-4,5
Ale belga	3,7-4,7
Lager europea	4,3-5,3
Lager australiana	4,7-5,3
Lambic	4,7-5,3
Lambic afrutada	5,9-8,8
Alemana de trigo	6,5-8,8

La cantidad de dióxido de carbono disuelto se puede aumentar con la contrapresión en el tanque (dependiente de la T de operación), mediante el escape de CO₂, y se suelen emplear líneas de carbonatación para su ajuste (las fábricas de hoy en día recuperan en torno al 65-75 % del generado en la fermentación principal).

Existe la opción de comprar dióxido de carbono y agregarlo al proceso, aunque esto provoca un aumento del coste de producción, así como una cerveza de peor calidad, idea contraria a la de este proyecto que no es otra que elaborar una cerveza con pocos aditivos industriales y buena calidad del producto final.

En cuanto a la clarificación, la guarda se realiza a una T lo más baja posible (en torno a los 0 °C), generando una turbidez en la cerveza que desaparecerá cuando alcance la T ambiente en su envasado. Además, hay mecanismos para reducir la turbidez, como es la adición de ácido tánico para precipitar el exceso de proteínas y defecto de taninos, el empleo de adsorbentes insolubles que sedimentan por agitación o el uso de un filtro por el que pase la cerveza.

La maduración organoléptica es el objetivo fundamental de la etapa de maduración debido a la tendencia actual de producir cervezas más ligeras. Existen cientos de compuestos químicos presentes en la cerveza que se ven incrementados durante esta etapa, otros reducidos e incluso algunos que se ven inalterados [3].

Entre los más importantes en cuanto a su influencia en el sabor de la cerveza se pueden destacar:

- Acetaldehído: El antecesor al etanol, es un compuesto intermedio producido durante los 3 primeros días de la fermentación principal. Se reduce durante la guarda gracias a la levadura sobrante y es el encargado de darle un sabor a hierba y sidra a la cerveza.
- Diacetilo: Proporciona un sabor a mantequilla indeseable en cervezas ligeras y a veces deseable en las de tipo Ale. Suele ser un indicador del grado de maduración de la cerveza.
- Componentes azufrados: Proviene mayoritariamente del mosto y metabolismo de la levadura y resultan imprescindibles para la síntesis de proteínas. Se comportan como agentes antioxidantes pero un exceso de estos provoca un sabor indeseado en la cerveza.

• Tanques de maduración

El proceso de maduración y envejecimiento de la cerveza se puede realizar en el mismo tanque de fermentación principal (proceso monotanque) o en un tanque cilíndrico de reposo conectado al primero.

El proceso monotanque tiene varias ventajas sobre el proceso de fermentación en dos tanques, como es su menor coste energético y de limpieza, las menores pérdidas de dióxido de carbono al no necesitar trasiego de un tanque a otro o el menor tiempo de trabajo requerido. Por ello, el proceso de maduración alcance de este proyecto para su diseño y cálculo es un proceso monotanque, que además necesita de menor espacio para su implantación, otra de las características que definen a los equipos de la industria cervecera artesanal.

6.5. Filtración y envasado

Una vez terminado el reposo de la cerveza para su clarificación y evolución organoléptica, la cerveza puede llevar a cabo un proceso de filtración y estabilización para prolongar la vida útil del producto. Sin embargo, el realizar esta etapa haría entrar en un debate acerca de si la cerveza dejaría de ser artesanal.

La filtración consiste en separar la cerveza fermentada y envejecida de la levadura, produciendo un bloqueo de ciertas sustancias que aportan sabor y aroma al producto final. Por este motivo, las cerveceras artesanales y microcerveceras, como es el caso del diseño de la planta de este proyecto, apuestan por no preservar la vida de la cerveza de forma artificial y obtener una cerveza con la levadura y diversas sustancias en su interior que le den mayor cuerpo y complejidad a la cerveza.

En este caso se lleva a cabo la clarificación en el tanque de maduración, a través del precipitado favorecido a bajas temperaturas como se ha dicho anteriormente, y su posterior retirada por la parte inferior, aunque haya otras opciones para evitar una filtración industrial, como el uso de sedimentadores para aumentar la tasa de precipitación en el tanque o centrifugar la cerveza tras su maduración para acelerar la precipitación.

La pasteurización de la cerveza como tratamiento post-fermentativo antes de su envasado no suele realizarse en la elaboración de cerveza artesanal, con el fin de evitar una pérdida de propiedades organolépticas que la hacen distintivas del resto de cervezas.

Así, una vez enfriada y clarificada, la cerveza se puede envasar en tres recipientes diferentes; en barriles, en botellas de vidrio o en latas.

Los barriles son una forma muy frecuente de consumir cerveza en lugares públicos. Se fabrican de acero inoxidable, aluminio o madera revestida, tienen forma cilíndrica y contienen un tornillo a contrapresión que cierra y presuriza el recipiente tras su llenado por el ojo del barril.

Las fases de llenado de barriles contienen una lavadora de barriles para esterilización previa a su llenado, una llenadora de éstos, una botella de CO₂ para mantener la correcta presión de la cerveza en su interior antes de ser servida, un regulador de presión y una manguera para el gas, otra para la cerveza y otra para ser servida.

Antes del llenado de cerveza, el barril se llena a contrapresión con CO₂ para eliminar el oxígeno contenido y una posible oxidación de la cerveza, y una vez alcanzada la presión requerida, se llena de cerveza según el principio isobarométrico.

Las botellas de vidrio son muy utilizadas como material de envasado para cerveza en diversas medidas y formas, siendo más empleadas las retornables que las no retornables.

Presentan como ventajas su capacidad de conservar el sabor, su resistencia al calor y a la deformación por presión de la carbonatación, su impermeabilidad al gas, su protección contra la contaminación externa si están bien sellados y su posibilidad de presentarse transparente u opaco según afecte o no la luz solar.

Sin embargo, tienen inconvenientes como su pesadez y fragilidad, los problemas que origina su desecho en pequeños trozos de vidrio a la hora de su reposición o los altos costes de transportes que requieren.

Una botella que presente buenas condiciones puede reutilizarse si se encuentra nuevas tapas convenientes. La economía de muchas industrias cerveceras dependen en gran parte de la eficiencia al retorno y reutilización de las botellas. Sin embargo, debe tenerse mucho cuidado a la hora su inspección visual y olfativa, ya que un uso previo diferente al alimentario puede provocar una contaminación del producto.

Las fases del proceso de envasado de botellas retornables se pueden esquematizar en el diagrama de flujo que se observa en la *Figura 30*.

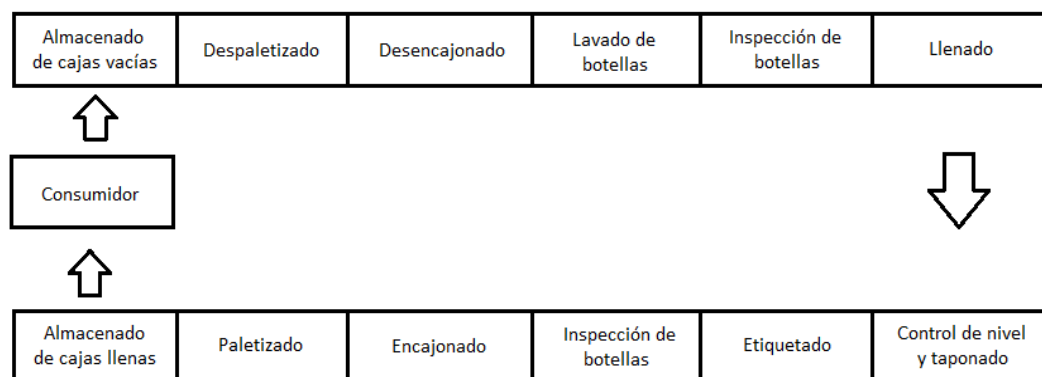


Figura 30. Diagrama de flujo de embotellado retornable de cerveza

La línea de producción de envasado de las botellas no reutilizables presentan el mismo diagrama que el de la Figura 30, a diferencia de que estas sufren un rociado o enjuague antes de su llenado, ya que pueden contener partículas de polvo de vidrio o debido al transporte.

El llenado de las latas se realiza mediante un presellado a en el descenso de la válvula, realizando el llenado de forma automática cuando se igualan la presión entre la lata y el anillo de cierre.

La llenadora y cerradora van sincronizadas y la instalación se puede limpiar con soluciones detergentes, sin tener que desmontarla. El envasado en latas presenta varias ventajas, como es su protección contra la radiación solar (puede producir transformaciones indeseadas en el sabor del producto final) o el buen intercambio térmico gracias a su fino espesor, lo que permite un control de la T^a de la antes de su consumo.

El principal inconveniente del envasado en lata es su mayor costo en relación con las botellas. Las latas están hechas de aluminio u hojalata, en este último caso con un recubrimiento que impida el contacto directo con la cerveza y la producción de compuestos insolubles proteínicos en el producto.

1 VOLUMEN DE PRODUCCIÓN Y MATERIA PRIMA

Para los cálculos de la materia prima necesaria se ha partido de una receta cervecera de una planta artesanal [14]. El objetivo principal del diseño es producir un volumen diario de 1.000 litros de cerveza, cumpliendo con los márgenes de producción que definen a la actividad de una microcervecera.

La receta elabora una cerveza tipo Pilsner, similar a la Bitburger alemana. Tiene un sabor más lupulizado que la Pilsen europea y contiene un toque floral que da mayor complejidad en sabor y aroma. Sin embargo, su bajo contenido en alcohol (4,8 % v/v) y su frescor lo hace un producto fácilmente bebible y refrescante, manteniendo la esencia de la cerveza comúnmente consumida en España. La receta para la producción de 23 litros de esta cerveza tipo Pilsner es la siguiente:

➤ *Malta*

- 4 kg de malta Pilsner
- 500 g de malta caramelo 30

➤ *Lúpulo*

- 20 g de lúpulo tipo Perle
- 40 g de lúpulo tipo Tettnanger

➤ *Levadura*

- 23 g de levadura tipo Saflager S-23

A continuación se realizan los cálculos de las cantidades necesarias de agua y demás materia prima en cada fase del proceso para la elaboración de 1000 L/día. Para ello se parte por el final, ya que la cantidad de producción la define el fermentador. Teniendo en cuenta las pérdidas o mermas de producto durante el proceso de elaboración que no tiene en cuenta la receta se obtendrá los ingredientes y sus cantidades necesarias para la cerveza objeto de este proyecto.

El cálculo del volumen en el fermentador debe tener en cuenta las pérdidas por precipitación de las sustancias turbiantes durante la guarda y clarificación. Para el cálculo de las pérdidas post-fermentativas se suele estipular en un 6 % del total del volumen fermentador [6]. Por tanto, el volumen en el fermentador será:

$$V_{\text{fermentador}} = V_{\text{producción}} + V_{\text{pérdidas}} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

$$V_{\text{fermentador}} = 1000 \text{ L} + (0,06 \times 1000) \text{ L}$$

$$V_{\text{fermentador}} = 1060 \text{ L}$$

Por tanto, la cantidad de levadura a añadir en el fermentador será:

$$masa_{\text{levadura Saflager S-23}} = 1060 \text{ L} \times \frac{23 \text{ g}}{23 \text{ L}} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

$$masa_{levadura\ Saflager\ S-23} = 1060\ g$$

Para calcular la cantidad de mosto que llega al fermentador tras su ebullición hay que tener en cuenta las pérdidas durante el tratamiento previo de clarificación, enfriamiento y aireación (conocidas como trub), generalmente mediante un factor cuyo valor es del 10 %, además del volumen ocupado por la levadura inoculada antes de la fermentación.

La receta indica que el cervecero debe añadir 23 g de levadura para la producción de 23 L, es decir, 1 g/L. Además, su hidratación debe realizarse 30 minutos antes de su inyección en el fermentador con una cantidad de 10 veces su peso en agua. Por tanto, el volumen ocupado por el mosto después de su cocción será de:

$$V_{cocedor} = V_{fermentador} + V_{trub} - V_{levadura} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

$$V_{cocedor} = 1060 + (0,1 \times V_{cocedor}) - \frac{1000\ g\ levadura}{1000\ L\ cerveza} \times \frac{10\ L}{g\ levadura}$$

$$V_{cocedor} = 1166,7\ L$$

La cantidad de lúpulo a añadir se calcula a partir de la cantidad de mosto en la cocción (24,5 L esperados en la receta). La cantidad de lúpulo a añadir será de:

$$masa_{lúpulo} = V_{cocedor} \times \frac{masa\ inicial\ lúpulo}{24,5\ L} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

$$masa_{lúpulo\ Perle} = 1166,7\ L \times \frac{20\ g}{24,5\ L}$$

$$masa_{lúpulo\ Perle} = 952,4\ g$$

$$masa_{lúpulo\ Tettnanger1} = 1166,7\ L \times \frac{25\ g}{24,5\ L}$$

$$masa_{lúpulo\ Tettnanger1} = 1190,5\ g$$

$$masa_{lúpulo\ Tettnanger2} = 1166,7\ L \times \frac{15\ g}{24,5\ L}$$

$$masa_{lúpulo\ Tettnanger2} = 714,3\ g$$

Para el cálculo del volumen filtrado (mosto que llega al cocedor) hay que tener en cuenta las pérdidas por evaporación en la ebullición, cuyo valor es del 5-10 % según la Tª alcanzada (valor promedio del 7,5 % para este caso) [6]. El volumen filtrado será:

$$V_{filtrado} = V_{cocedor} + V_{evaporado} + V_{pérdidas} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

$$V_{filtrado} = 1166,7 L + (0,075 \times 1166,7)L$$

$$V_{filtrado} = 1254,2 L$$

El mosto filtrado debe tener en cuenta unas pérdidas del 1 % por el uso del filtro, por lo que el mosto que atraviesa el filtro es de:

$$V_{filtro} = 1254,2 \times 1,1 L$$

$$V_{filtro} = \mathbf{1379,6 L}$$

La cantidad de mosto que atraviesa el filtro procede del macerado y de un lavado de la malta para la disolución de los azúcares restantes. De esta forma:

$$V_{filtro} = V_{filtrado} + V_{lavado} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

donde:

$$V_{filtrado} = V_{agua\ macerado} - V_{retenido} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

$$V_{lavado} = V_{cocedor} - V_{filtrado} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Para calcular el volumen de agua necesaria para el macerado y lavado hay que partir de los datos iniciales. En la maceración se añade toda la malta empleada en el proceso, cuya cantidad es:

$$V_{malta\ total} = (4\ kg + 0,500\ kg) \times \frac{1000\ L\ producción}{23\ L\ receta}$$

$$V_{malta\ total} = 195,65\ kg$$

La densidad requerida para el empastado es de 3 kg/L, por lo que el volumen de agua para la maceración es:

$$V_{agua\ macerado} = 3 \frac{L}{kg\ malta} \times V_{malta\ total}$$

$$V_{agua\ macerado} = 3 \frac{L}{kg\ malta} \times 195,65\ kg\ malta$$

$$V_{agua\ macerado} = 586,96\ L$$

El volumen total de macerado teórico según la receta debe tener en cuenta el volumen ocupado por la malta, que depende del tipo de grano empleado y que es 0,67 L/kg malta [6]. Por tanto:

$$V_{malta\ total} = 0,67 \frac{L}{kg\ malta} \times 195,65\ kg\ malta$$

$$V_{malta\ total} = 131,09$$

$$V_{macerado} = V_{agua\ macerado} + V_{malta\ total} \quad [Ecuación\ 11]$$

$$V_{macerado} = 586,96\ L + 131,09\ L$$

$$V_{macerado} = 718,05\ L$$

Teniendo en cuenta que el volumen de agua retenida se considera de 1 L/kg de malta empleada:

$$V_{retenido} = \frac{1\ L}{kg\ malta} \times 195,65\ kg\ malta$$

$$V_{retenido} = 195,65\ L$$

Sustituyendo en la [Ecuación 9] y [Ecuación 10]:

$$V_{filtrado} = 586,96\ L - 195,65\ L$$

$$V_{filtrado} = 391,31\ L$$

$$V_{lavado} = 1166,7\ L - 391,31\ L$$

$$V_{lavado} = 775,39\ L$$

Por cada kg de malta se absorbe 1 L de agua, por tanto, los otros 2 restantes son filtrados. Al ser porcentajes constantes, la cantidad de agua y malta para la maceración, así como el agua de lavado de los granos es:

$$V_{agua\ macerado} = V_{filtro} \times \frac{V_{filtrado\ receta}}{V_{filtrado\ receta} + V_{lavado\ receta}} \times \frac{100}{66} \quad [Ecuación\ 12]$$

$$V_{agua\ macerado} = 1379,6\ L \times \frac{391,31}{391,31 + 775,39} \times \frac{100}{66}$$

$$V_{\text{agua macerado}} = 701,1 \text{ L}$$

$$V_{\text{lavado}} = 1379,6 \text{ L} \times \frac{775,39}{391,31 + 775,39}$$

$$V_{\text{lavado}} = 916,9 \text{ L}$$

$$V_{\text{malta total}} = V_{\text{agua macerado}} \times \frac{1 \text{ kg malta}}{3 \text{ L agua}}$$

$$V_{\text{malta total}} = 233,7 \text{ kg}$$

$$V_{\text{malta Pilsner}} = 233,7 \text{ kg} \times \frac{4 \text{ kg malta pilsner}}{4,5 \text{ kg}}$$

$$V_{\text{malta Pilsner}} = 207,7 \text{ kg}$$

$$V_{\text{malta caramelo 30}} = 26 \text{ kg}$$

Por tanto, el volumen contenido en el macerador será:

$$V_{\text{macerador}} = V_{\text{agua macerado}} + V_{\text{malta total}} \quad [\text{Ecuación 13}]$$

$$V_{\text{macerador}} = 701,1 \text{ L} + 233,7 \text{ kg malta} \times \frac{0,67 \text{ L}}{\text{kg malta}}$$

$$V_{\text{macerador}} = 857,7 \text{ L}$$

En la *Tabla 19* se muestra un resumen de los volúmenes calculados de materia prima y producto necesarios en cada etapa del proceso, así como las principales propiedades de la cerveza a producir y los métodos empleados para ello:

Tabla 19. Materias primas y volúmenes de producción para cerveza tipo Pilsen

Cerveza Lager tipo Pilsen (1000 L/día)				
Densidad inicial (kg/L)		Densidad final (kg/L)		Graduación alcohólica (%)
1,045		1,010		4,8
Etapas	Volumen diario (L)	Materia prima añadida		Método
Maceración (60 min)	857,7	Malta Pilsner	207,7 kg	Macerado simple a 65 °C
		Malta Caramelo 30	26 kg	
		Agua	701,1 L	

Etapa	Volumen diario (L)	Materia prima añadida		Método
Filtrado	1379,6	Agua lavado	916,9 L	Sistema de filtrado por bombeo
Cocción (90 min)	1166,7	Lúpulo Perle	952,4 g	Minuto 30
		Lúpulo Tettnanger	1190,5 g	Minuto 45
		Lúpulo Tettnanger	714,2 g	Minuto 85
Fermentación	1060	Levadura Saflager S-23	1060 g	Fermentación primaria (1 semana, T ^a 12-14 °C)
				Fermentación secundaria (15 días, T ^a 10 °C)

En la *Figura 31* se muestra un diagrama de bloques del proceso para la elaboración de la cerveza del proyecto con sus correspondientes flujos de materia prima y producto generado por cada fase productiva.

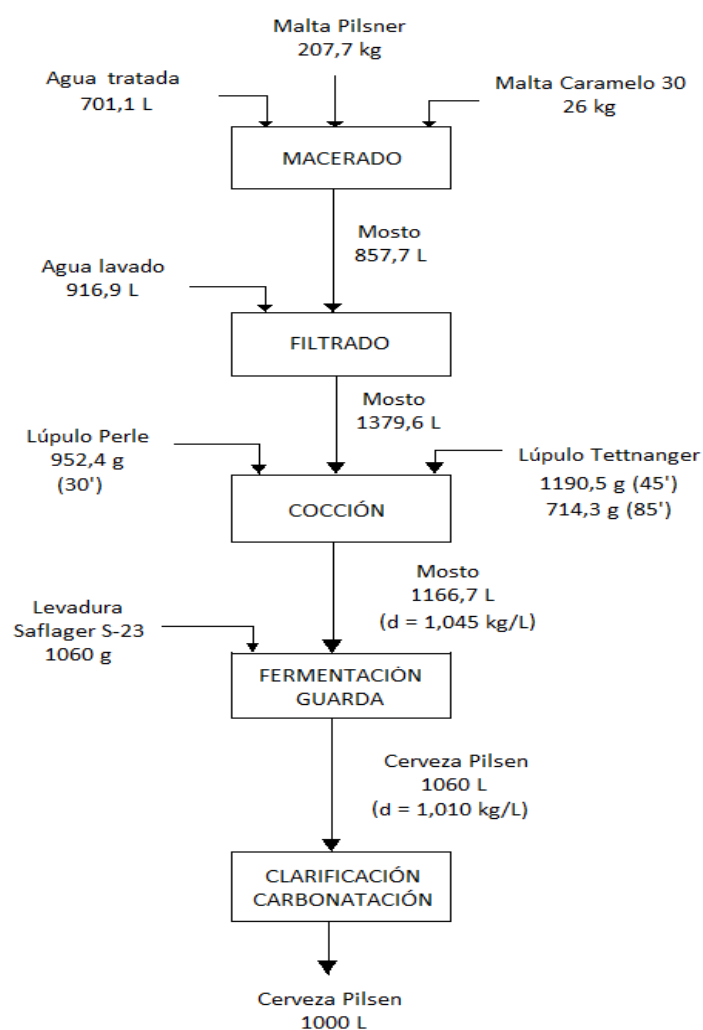


Figura 31. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza

2 DISEÑO DE FERMENTADORES MONOTANQUE

Este proyecto tiene como objetivo principal producir 1000 L diarios de la cerveza recetada anteriormente. A continuación se van a realizar los cálculos para el diseño y dimensionamiento de los fermentadores necesarios en la planta, ya que es el equipo más importante del proceso de elaboración de la cerveza deseada.

2.1. Cantidad, capacidad y dimensionamiento

Para calcular la capacidad requerida por el tanque de fermentación se tiene en cuenta el volumen de mosto contenido en el equipo, así como el tiempo de fermentación necesario para llevarse a cabo. Teniendo en cuenta ambos aspectos, el volumen contenido será:

$$V = V_{\text{fermentado diario}} \times t_{\text{fermentación}} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

$$V = 1060 \frac{\text{L mosto}}{\text{día}} \times 22 \text{ días}$$

$$V = 23320 \text{ L mosto}$$

En este proyecto, tal como se ha dicho anteriormente, el tanque de fermentación también realiza la maduración y la clarificación del mosto, es decir, un proceso fermentativo monotanque. Con esto se consigue menores costes de trabajo, energía o construcción. Sin embargo, el volumen total de mosto es elevado debido al tiempo que necesita para realizar en continuo el proceso, desde que empieza a fermentar hasta que clarifica y madura en términos organolépticos.

Para evitar un dimensionamiento excesivo, se van a implantar en la factoría **4 tanques de fermentación**, cada uno con un contenido en mosto teórico de 5830 L. Para el dimensionamiento de éstos, se escogerá como base de cálculo un mosto de 6000 L, teniendo así un margen de producción frente a posibles problemas en la cadena productiva (retrasos en la fermentación, fallos en las tuberías de llenado y vaciado del tanque, fallos de personal, etc.).

La capacidad del tanque de fermentación debe tener en cuenta un 20 % de espacio vacío para la formación de espumas [6], evitando así problemas de fugas, sobrellenados y fallos en el sistema de control, por lo que:

$$0,2 = \frac{V_{\text{fermentador}} - V_{\text{mosto}}}{V_{\text{fermentador}}} \quad [\text{Ecuación 15}]$$

$$V_{\text{fermentador}} = \frac{V_{\text{mosto}}}{0,8}$$

$$V_{\text{fermentador}} = \frac{6000}{0,8}$$

$$V_{\text{fermentador}} = 7500 \text{ L}$$

Para el diseño de cada fermentador se escoge un tanque cilindrocónico, el más utilizado en la industria cervecera, tal como se dijo en el apartado descriptivo. Para su cálculo se toma como base un equipo compuesto de tres zonas; una cabeza o tapa elipsoidal, un cuerpo cilíndrico y una base cónica cuyo ángulo es de 60 °.

La cabeza del fermentador tiene forma elipsoidal y ocupa en el tanque la mitad de su volumen. Por tanto:

$$V_{tapa} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{4}{3} \times \pi \times a \times b \times c \right) \quad [\text{Ecuación 16}]$$

donde:

$$a = \frac{D_{fermentador}}{2}$$

$$b = \frac{D_{fermentador}}{2}$$

$$c = H_{tapa}$$

El cuerpo del tanque tiene forma cilíndrica, por lo que el volumen se calcula según la ecuación:

$$V_{cuerpo} = \frac{\pi \times D_{fermentador}^2}{4} \times H_{cuerpo} \quad [\text{Ecuación 17}]$$

El fondo tiene forma cónica con un ángulo de 60 °. El volumen de la base del tanque se calcula por lo tanto según la ecuación:

$$V_{fondo} = \frac{\pi \times D_{fermentador}^2}{12} \times H_{fondo} \quad [\text{Ecuación 18}]$$

La tapa ocupa la mitad de un elipsoide, por lo que:

$$H_{tapa} = \frac{D_{fermentador}}{4} \quad [\text{Ecuación 19}]$$

La altura de la base se puede obtener mediante relaciones trigonométricas tal como se muestra en la Figura 34, y según la ecuación:

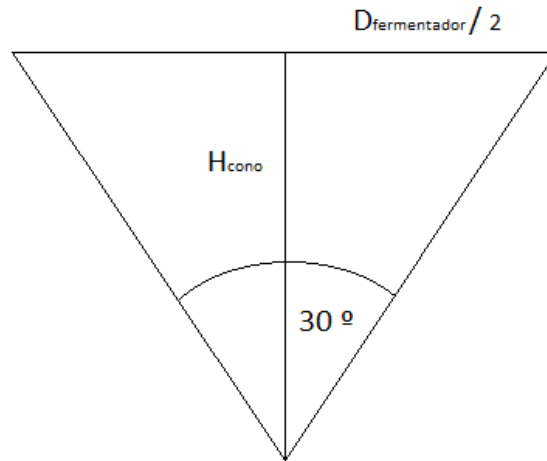


Figura 32. Base del fermentador cilíndrico-cono

$$\operatorname{tg}(30) = \frac{D_{\text{fermentador}}}{2 \times H_{\text{cono}}} \quad [\text{Ecuación 20}]$$

Sabiendo que la altura del fermentador se puede obtener a través de la relación común de altura-diámetro de los fermentadores cilíndricos de 2:1[6], se puede obtener el $D_{\text{fermentador}}$, según las ecuaciones:

$$V_{\text{fermentador}} = V_{\text{tapa}} + V_{\text{cuerpo}} + V_{\text{fondo}} \quad [\text{Ecuación 21}]$$

$$H_{\text{fermentador}} = H_{\text{tapa}} + H_{\text{cuerpo}} + H_{\text{fondo}} \quad [\text{Ecuación 22}]$$

$$H_{\text{cuerpo}} = 2D_{\text{fermentador}} - \frac{D_{\text{fermentador}}}{4} - \frac{D_{\text{fermentador}}}{2 \times \operatorname{tg}(30)}$$

$$H_{\text{cuerpo}} = \frac{7D_{\text{fermentador}} \times \operatorname{tg}(30) - 2D_{\text{fermentador}}}{4}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 21] y despejando:

$$7,5 \, \text{m}^3 = \frac{\pi \times D_{\text{fermentador}}^3}{24} + \left(\frac{\pi \times D_{\text{fermentador}}^2}{4} \times \left(\frac{7D_{\text{fermentador}} \times \operatorname{tg}(30) - 2D_{\text{fermentador}}}{4} \right) \right) + \frac{\pi \times D_{\text{fermentador}}^3}{24 \times \operatorname{tg}(30)}$$

$$\mathbf{D_{fermentador} = 2,15 \, m}$$

Y por tanto:

$$\mathbf{H_{fermentador} = 4,30 \, m}$$

2.2. Material y espesor del tanque

Para determinar el espesor que requiere las paredes del tanque se debe conocer el material del que se van a construir los fermentadores (cuatro fermentadores de iguales dimensiones y características). En este proyecto se escoge como material de fabricación el acero inoxidable, ya que es el material usado en general en la industria cervecera. Es una aleación con una base de cromo del 11-26 % y con un porcentaje de níquel y titanio para aumentar la tenacidad y soldabilidad del material respectivamente.

Existen aceros inoxidables magnéticos y no magnéticos, siendo estos últimos los usados en las cerveceras, en concreto la serie AISI 300, siendo los más comunes para la fabricación de recipientes a presión como es el caso de los fermentadores troncocónicos la serie 304 y 316 [15]. Los aceros inoxidables son más empleados que otros materiales para construcción de equipos industriales debido a las grandes ventajas:

- Gran resistencia a la corrosión
- Fácil limpieza y eliminación de residuos y microorganismos “in situ” mediante aerosoles a presión tras el ciclo de elaboración
- Evita la degradación y oxidación del equipo durante el proceso fermentativo
- Fácil soldadura

En este caso, el material elegido para la construcción es el AISI 304, ya que presenta mejores propiedades en cuanto a soldabilidad y resistencia a la corrosión con respecto al acero inoxidable AISI 316.

Para el cálculo del espesor se calculará por separado el requerido para cada parte del tanque, ya que éste varía según su geometría. Las fórmulas del espesor de pared para equipos sometidos a presión interna como es este caso, según el código ASME [16] son para la cabeza elipsoidal, el casco cilíndrico y la sección cónica respectivamente:

$$t = \frac{P \times D}{2 \times S \times E - 0,2 \times P} + CA \quad [\text{Ecuación 23}]$$

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} + CA \quad [\text{Ecuación 24}]$$

$$t = \frac{P \times D}{2 \times \cos \alpha \times (S \times E - 0,6 \times P)} + CA \quad [\text{Ecuación 25}]$$

donde:

- t: Espesor de pared (in)
- P: Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida (lb/in²)
- D: Diámetro interior (in)
- R: Diámetro interior (in)
- S: Valor del esfuerzo del material (lb/in²)
- E: Eficiencia de la junta
- α : Mitad del ángulo del vértice
- CA: Margen por corrosión (in)

Todos los parámetros necesarios para calcular el espesor se conocen (**D** = 2,15 m = **84,65 in**, **R** = 1,075 m = **42,325 in**) o se pueden determinar. La presión de diseño es la presión que se emplea para diseñar el tanque de fermentación y debe ser mayor que la presión de operación, requisito que se cumple con la mayor entre una presión de diseño de 30 lb/pulg o una de un 10 % mayor que la presión de trabajo.

Teniendo en cuenta además la presión de los fluidos contenidos en el interior, la presión de diseño será:

$$P = 30 \frac{lb}{in^2} \quad [\text{Ecuación 26}]$$

ó

$$P = (P_O + P_H) \times 1,1 \frac{lb}{in^2} \quad [\text{Ecuación 27}]$$

La presión de operación no es otra que la del CO₂ generado por la levadura durante el proceso de catabolización fermentativa. Observando la *Tabla 20* y la *Tabla 21* se puede determinar la presión ejercida por el anhídrido carbónico en el tanque.

Tabla 20. Volúmenes requeridos de CO₂ por estilo (Hanselbier, 2017)

Volumes of CO2 Required According To Beer Style	
Beer Style	Volumes CO2
British-Style Ales	1.5 - 2.0
Porter, Stout	1.7 - 2.3
Belgian Ales	1.9 - 2.4
European Lagers	2.2 - 2.7
American Ales & Lagers	2.2 - 2.7
Lambic	2.4 - 2.8
Fruit Lambic	3.0 - 4.5
German Wheat Beer	3.3 - 4.5

Tabla 21. Presión ejercida por el CO₂ a diferente T y volúmenes (Hanselbier, 2017)

°C	5 psi	10 psi	15 psi	20 psi	25 psi	30 psi
-1	2.3	2.8	3.4	4.0	4.5	5.1
0	2.2	2.7	3.2	3.7	4.3	4.8
1	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6
2	2.0	2.5	3.0	3.6	4.1	4.6
3	1.9	2.4	2.9	3.4	3.8	4.3
4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.7	4.1
5	1.8	2.3	2.7	3.1	3.6	4.0
6	1.7	2.2	2.6	3.0	3.5	3.9
8	1.6	2.0	2.5	2.9	3.3	3.7
10	1.5	1.9	2.3	2.7	3.1	3.5
12	1.4	1.8	2.2	2.5	2.9	3.2
14	1.3	1.7	2.0	2.4	2.7	3.1
16	1.3	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0
18	1.2	1.5	1.9	2.2	2.5	2.8
20	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4

La T en el tanque de fermentación diseñado en el proyecto varía según la etapa de fermentación o maduración. Como criterio de seguridad, se coge la T de fermentación del proceso de 14 °, y un volumen de levadura de 2,7 para cerveza de tipo Lager (ver *Tabla 20*), como es el caso de la Pilsen a producir. Observando la *Tabla 21* y entrando con los dos parámetros mencionados, la presión ejercida por el CO₂, y por tanto, la presión de operación, es:

$$P_0 = 25 \text{ p.s.i}$$

$$P_0 = 25 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

El mosto contenido en el recipiente ejerce presión sobre las paredes del mismo y ésta debe sumarse a la presión de diseño del equipo. Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$P_H = H_{\text{mosto}} \times \rho_{\text{mosto}} \quad [\text{Ecuación 28}]$$

La densidad del líquido contenido varía a la entrada y salida del fermentador debido a la conversión de los azúcares fermentables. Como criterio de seguridad, se escoge la densidad del fluido a la entrada, siendo ésta de $\rho_{\text{mosto}} = 1,045 \text{ kg/L}$. Por su parte, la altura que alcanza el mosto en el fermentador se puede calcular sabiendo qué volumen ocupa del cuerpo cilíndrico. Para ello se calcula primero el volumen del fondo cónico:

$$V_{\text{fondo}} = \frac{\pi \times 2,15^2}{12} \times \frac{2,15}{2 \times \text{tg}(30)}$$

$$V_{\text{fondo}} = 2,253 \text{ m}^3$$

Sabiendo que el volumen contenido de mosto es 6000 L por tanque, se calcula el volumen que ocupa el cuerpo (suponiendo se llena todo el fondo), sustituyendo en la [Ecuación 17] :

$$V_{\text{mosto cuerpo}} = 6 - 2,253 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mosto cuerpo}} = 3,983 \text{ m}^3$$

$$3,983 = \frac{\pi \times 2,15^2}{4} \times H_{\text{mosto cuerpo}}$$

$$H_{\text{mosto cuerpo}} = 1,097 \text{ m}$$

Despejando la altura del fondo mediante la [Ecuación 19] se puede calcular la altura total que ocupa el fluido:

$$H_{cono} = \frac{2,15}{2 \times tg(30)}$$

$$H_{cono} = 1,862 \text{ m}$$

$$H_{mosto} = 1,862 \text{ m} + 1,097 \text{ m}$$

$$H_{mosto} = 2,959 \text{ m}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 24]:

$$P_H = 2,959 \text{ m} \times 1,045 \times 10^3 \frac{kg}{m^3} \times \frac{9,8 \text{ N}}{kg} \times \frac{0,000145 \frac{lb}{in^2}}{1 \frac{N}{m^2}}$$

$$P_H = 4,394 \frac{lb}{in^2}$$

Calculada la presión de operación y la presión hidrostática se puede calcular la presión de diseño del tanque sustituyendo estos valores en la [Ecuación 27]:

$$P = (25 + 4,394) \times 1,1 \frac{lb}{in^2}$$

$$P = 32,33 \frac{lb}{in^2}$$

Al ser mayor de $30 \frac{lb}{in^2}$ es el valor de diseño. Para el cálculo de la eficiencia de la junta se emplea la NORMA UW-12 [16], donde se definen los tipos de junta soldada y su eficiencia según el grado de examinación. En este caso juntas a tope radiografiadas totalmente y hechas por doble cordón de soldadura, con valor de **E=1**.

Para el cálculo del valor del esfuerzo del material se toma el valor de **S=46000 $\frac{lb}{in^2}$** para el acero de la familia de los martensíticos y tipo AISI 304, como se ha dicho anteriormente, según la norma UNE-EN-10088-2.

En el caso de α se toma un valor igual a la mitad del ángulo que forma el fondo, ya que no supera los 30 °, lo que implicaría realizar un análisis especial. Al ser un ángulo de 60°, $\alpha = 30^\circ$.

Para el cálculo del margen de corrosión se toma un valor comúnmente usado en el diseño de recipientes a presión de **CA = 0,125 in**. Sustituyendo estos valores en la [Ecuación 23], [Ecuación 24] y [Ecuación 25] se obtienen unos espesores de:

$$t_{cabeza} = \frac{32,33 \frac{lb}{in^2} \times 84,65 \text{ in}}{2 \times 46000 \frac{lb}{in^2} \times 1 - 0,2 \times 32,33 \frac{lb}{in^2}} + 0,125 \text{ in}$$

$$t_{cabeza} = 0,155 \text{ in}$$

$$t_{cuerpo} = \frac{32,33 \frac{lb}{in^2} \times 42,325 in}{46000 \frac{lb}{in^2} \times 1 - 0,6 \times 32,33 \frac{lb}{in^2}} + 0,125 in$$

$$t_{cuerpo} = 0,155 in$$

$$t_{fondo} = \frac{32,33 \frac{lb}{in^2} \times 84,65 in}{2 \times \cos(30) \times (46000 \frac{lb}{in^2} \times 1 - 0,6 \times 32,33 \frac{lb}{in^2})} + 0,125 in$$

$$t_{fondo} = 0,1594 in$$

Sabiendo que hay 25,4 mm por pulgada se obtienen los resultados de espesor en mm, como se observa en la Tabla 22. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los tanques a presión interna trabajan con un espesor mínimo por seguridad, en concreto de 5 mm según la Norma API 620 para los que tienen un diámetro menor a 15 m, y que por tanto, será el valor real tomado para los fermentadores.

Tabla 22. Valor del espesor por sección del fermentador

Sección	Espesor mínimo (mm)	Espesor real (mm)
Cabeza elipsoidal	3,937	5
Cuerpo cilíndrico	3,937	5
Fondo cónico	4,049	5

2.2. Refuerzo en la unión entre fondo y cuerpo

Debido a la flexión y al corte, la unión entre el cuerpo cilíndrico y el fondo cónico sufre una serie de esfuerzos que deben ser generalmente compensados con refuerzo. Para determinar si se debe implementar un refuerzo entre ambas secciones se lleva a cabo el siguiente procedimiento [16]:

1. Determinar el factor x, el cual tomará un valor igual a:

$$x = \min [(S_S \times E_1), (S_C \times E_2)] \quad [\text{Ecuación 29}]$$

donde:

- S_S y S_C son los esfuerzos admisibles del material para el cuerpo y el cono respectivamente ($\frac{lb}{in^2}$).
- E_1 y E_2 son los valores de la eficiencia de juntas soldadas para el cuerpo y el cono respectivamente.

En este caso el material de construcción y el tipo de juntas soldadas es el mismo para el fondo cónico y el cuerpo cilíndrico (acero inoxidable AISI 304 y juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura como se dijo anteriormente), por lo que ambos productos toman el mismo valor.

Sustituyendo en la [Ecuación 29]:

$$x = \min \left[46000 \frac{lb}{in^2} \times 1, (46000 \frac{lb}{in^2} \times 1) \right] = 46000 \frac{lb}{in^2}$$

2. Determinar el factor y, el cual tomará un valor igual a:

$$y = \min [(S_S \times E_S), (S_C \times E_C)] \quad [Ecuación 30]$$

donde:

➤ E_S y E_C son los valores del módulo de elasticidad para el cuerpo y el cono respectivamente ($\frac{lb}{in^2}$).

Al igual que antes, el material de construcción para el fondo cónico y el cuerpo cilíndrico son iguales, por lo que el valor del módulo de elasticidad es igual y por tanto, también su producto.

El módulo de elasticidad para el acero inoxidable AISI 304 está entre 190 y 210 GPa [17], tomando en este caso el último valor como criterio de seguridad. Pasando éste valor a las unidades correspondientes y sustituyendo en la [Ecuación 30]:

$$210 \text{ GPa} \times \frac{1 \times 10^9 \text{ Pa}}{1 \text{ GPa}} \times \frac{1 \frac{lb}{in^2}}{6894,76 \text{ Pa}} = 30457912,97 \frac{lb}{in^2}$$

$$y = 46000 \frac{in}{lb^2} \times 30457912,97 \frac{in}{lb^2} = 1,4 \times 10^{12} \frac{in^2}{lb^4}$$

➤ Determinar el valor de Δ con la Tabla 23 [18] mediante la relación entre la presión de diseño ($\frac{lb}{in^2}$) y el valor de x calculado anteriormente.

$$\frac{P}{x} = \frac{32,33 \frac{lb}{pulg^2}}{46000 \frac{lb}{pulg^2}}$$

$$\frac{P}{x} = 0,0007$$

Tabla 23. Valores de Δ para el cálculo del refuerzo unión cono-cilindro (Ruiz Rubio, 1976)

TABLA A - VALORES DE Δ PARA UNIONES EN EL EXTREMO GRANDE									
P/x	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009*
Δ , grados	11	15	18	21	23	25	27	28.5	30
TABLA B - VALORES DE Δ PARA UNIONES EN EL EXTREMO PEQUEÑO									
P/x		0.002	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080	0.100	0.125*
Δ , grados		4	6	9	12.5	17.5	24	27	30

Al ser menor que 0,001, $\Delta = 11 \text{ grados} \leq \alpha$ (30 °). Por lo tanto, se considera necesario un refuerzo en la unión.

• Cálculo del tamaño y ubicación del refuerzo

Para calcular el tamaño y ubicación del refuerzo en el tanque hace falta calcular el factor k, según la ecuación:

$$k = \frac{y}{S_R \times E_R} \quad [\text{Ecuación 31}]$$

donde:

- S_R es el valor del esfuerzo admisible del material para el anillo atiesador ($\frac{lb}{in^2}$).
- E_R es el valor del módulo de elasticidad para el anillo atiesador ($\frac{lb}{in^2}$).

El valor del módulo de elasticidad y esfuerzo admisible por el material del anillo debe tener al menos la misma resistencia que el material del que está construido el cono y el cuerpo del tanque (k debe ser mínimo 1) [18], por lo que se emplea el acero inoxidable AISI 304 para el anillo. Por tanto, sustituyendo en la [Ecuación 31]:

$$k = \frac{1,4 \times 10^{12} \frac{in^2}{lb^4}}{46000 \frac{in}{lb^2} \times 30457912,97 \frac{in}{lb^2}}$$

$$k = 1$$

▪ Tamaño

Para el cálculo del tamaño del anillo de refuerzo calcula el área requerida para el refuerzo (A en pulg²) y el área excedente de metal para el refuerzo (A_e en in²).

$$A = \frac{P \times R_i \times k}{2 \times x} \times \left(1 - \frac{\Delta}{\alpha}\right) \times \tan \alpha \quad [\text{Ecuación 32}]$$

$$A = \frac{32,33 \frac{lb}{in^2} \times 1,075^2 m^2 \times \frac{1550 in^2}{1 m^2} \times 1}{2 \times 46000 \frac{lb}{in^2}} \times \left(1 - \frac{11}{30}\right) \times \tan 30$$

$$A = 0,23 \text{ in}^2$$

$$A_e = 4 \times t_e \times \sqrt[2]{R_i \times t_s} \quad [\text{Ecuación 33}]$$

Siendo t_e :

$$t_e = \min[(t_s - t), (t_c - \frac{t}{\cos \alpha})] \quad [\text{Ecuación 34}]$$

donde:

- t_s : Espesor real del cilindro
- t : Espesor mínimo requerido en el cilindro
- t_c : Espesor real del cono

Sustituyendo en la [Ecuación 34]:

$$t_e = \min[(5 - 3,937), (5 - \frac{3,937}{\cos 30})]$$

$$t_e = 0,45 \text{ mm}$$

$$t_e = 0,018 \text{ pulg}$$

Tomando este valor en la [Ecuación 33] resulta un área excedente de:

$$A_e = 4 \times 0,018 \text{ in} \times \sqrt[2]{1,075 \times 10^3 \times 5 \text{ mm}^2 \times \frac{0,00155 \text{ in}^2}{1 \text{ mm}^2}}$$

$$A_e = 0,208 \text{ in}^2$$

El área de sección transversal requerida por el anillo de compresión será por tanto la diferencia entre el área requerida para el refuerzo y el área excedente de metal del anillo:

$$A_{\text{anillo}} = 0,23 - 0,208 = 0,022 \text{ in}^2$$

Si se toma un espesor del anillo de compresión de 0,625 pulgadas se obtiene el ancho del anillo, según la ecuación:

$$a_{anillo} = \frac{A_{anillo}}{t_{anillo}} \quad [\text{Ecuación 35}]$$

$$a_{anillo} = \frac{0,022 \text{ pulg}^2}{0,625 \text{ pulg}}$$

$$a_{anillo} = 0,035 \text{ pulg}$$

$$a_{anillo} = 0,889 \text{ mm}$$

La longitud necesaria de la barra (de acero AISI 304 también) para el anillo se puede calcular sabiendo que debe ser igual al perímetro externo del fermentador:

$$l_{anillo} = 2 \times \pi \times R_e \quad [\text{Ecuación 36}]$$

donde R_e (radio externo del tanque):

$$R_e = R_i + t_s$$

$$R_e = (1,075 + 5 \times 10^{-3})$$

$$R_e = 1,08 \text{ m}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 36] se obtiene una longitud del anillo de:

$$l_{anillo} = 2 \times \pi \times 1,08 \text{ m}$$

$$l_{anillo} = 6,79 \text{ m}$$

▪ Ubicación

Para determinar la ubicación del anillo de compresión se calcula la distancia desde la junta, en la cual puede colocarse el refuerzo adicional (d_{adic} en pulg) y la distancia desde la junta, en la cual debe situarse el centro de gravedad del refuerzo (d_{grav} en pulg) mediante la [Ecuación 37] y [Ecuación 38] respectivamente.

$$d_{adic} = \sqrt[2]{R_i \times t_s} \quad [\text{Ecuación 37}]$$

$$d_{adic} = \sqrt[2]{1,075 \times 10^3 \times 5 \text{ mm}^2 \times \frac{0,00155 \text{ in}^2}{1 \text{ mm}^2}}$$

$$d_{adic} = 2,886 \text{ in}$$

$$d_{grav} = 0,5 \times \sqrt[2]{R_i \times t_s} \quad [\text{Ecuación 38}]$$

$$d_{grav} = 0,5 \times \sqrt[2]{1,075 \times 10^3 \times 5 \text{ mm}^2 \times \frac{0,00155 \text{ in}^2}{1 \text{ mm}^2}}$$

$$d_{grav} = 1,443 \text{ in}$$

A continuación, en la *Tabla 24* se muestra un resumen de las dimensiones y localización del anillo de compresión necesario para el refuerzo en la unión cono-cilindro de los 4 tanques de fermentación a diseñar en el proyecto:

Tabla 24. Diseño del anillo de compresión para el refuerzo cono-cilindro

Tamaño		Ubicación	
Ancho (mm)	Longitud (m)	Distancia junta ref. adicional (in)	Distancia junta c. gravedad (in)
0,889	6,79	2,886	1,443

2.3. Peso del tanque

El peso del tanque se puede dividir en dos tipos; el peso de construcción y el peso de operación, que tiene en cuenta el peso generado por el fluido contenido en su interior.

- **Peso de construcción**

El cálculo del peso de construcción del tanque se calcula como el sumatorio del peso de cada sección, así como de los accesorios que lo componen [18]. Es decir:

$$P_{construcción} = P_{cilindro} + P_{cono} + P_{cabeza} + P_{accesorios} \quad [\text{Ecuación 39}]$$

Para calcular el peso que genera cada sección del fermentador se emplea la ecuación:

$$P_{sección} = A_{sección} \times P_{material} \quad [\text{Ecuación 40}]$$

El área de la sección cilíndrica, cónica y semielipsoidal de la cabeza del tanque se calcula mediante las ecuaciones:

$$A_{cuerpo} = 2 \times \pi \times R_i \times L \quad [\text{Ecuación 41}]$$

$$A_{cuerpo} = 2 \times \pi \times 1,075 \text{ m} \times 1,097 \text{ m}$$

$$A_{cuerpo} = 7,41 \text{ m}^2$$

donde:

- R_i : Radio interno del fermentador
- L : Altura del cuerpo cilíndrico

$$A_{fondo} = \frac{\text{longitud} \times \text{altura}}{2} \quad [\text{Ecuación 42}]$$

$$A_{fondo} = \frac{2 \times \pi \times R_i \times g}{2}$$

donde g es la generatriz, calculada a partir de la ecuación:

$$g = \sqrt{h_{cono}^2 + R_i^2} \quad [\text{Ecuación 43}]$$

Por tanto:

$$A_{fondo} = \frac{2 \times \pi \times 1,075 \text{ m} \times \sqrt{1,861^2 \text{ m}^2 + 1,075^2 \text{ m}^2}}{2}$$

$$A_{fondo} = 7,26 \text{ m}^2$$

El área superficial de la sección semielipsoidal de la cabeza se puede calcular según la siguiente ecuación:

$$A_{cabeza} = \frac{4 \times \pi \times \left(\frac{a^P \times b^P + a^P \times c^P + b^P \times c^P}{3} \right)}{2} \quad [\text{Ecuación 44}]$$

donde:

- $a=b$: Radio interno del fermentador
- c : Altura de la cabeza
- P : Factor de valor 1,6075

Sustituyendo en la [Ecuación 44]:

$$A_{cabeza} = \frac{2 \times \pi \times (1,075^{1,6075} \times 1,075^{1,6075} + 1,075^{1,6075} \times 0,5375^{1,6075} + 1,075^{1,6075} \times 0,5375^{1,6075})}{3}$$

$$A_{cabeza} = 4,38 \text{ m}^2$$

Una vez calculada el área superficial de cada sección del fermentador se obtiene el peso del material. En este proyecto, como se ha dicho anteriormente, se emplea acero inoxidable AISI 304 para la construcción de los equipos, ya que es el material más usado en la industria alimentaria para el diseño de recipientes a presión.

El espesor del material mínimo requerido es de 5 mm [16], por lo que consultando varias listas de láminas comerciales de este material, el peso por metro cuadrado de este acero y este espesor mencionado es de $38,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$. Sustituyendo en la [Ecuación 40] se obtiene un peso de construcción para cada sección de:

$$P_{cuerpo} = 285,29 \text{ kg}$$

$$P_{fondo} = 279,51 \text{ kg}$$

$$P_{cabeza} = 168,63 \text{ kg}$$

En cuanto a los accesorios, el tanque cuenta con varias partes dentro de las necesidades para la correcta operación del equipo. Entre ellas se encuentran:

- Soportes de platos y aislamiento
- Boquillas
- Anillo de compresión
- Bridas, tuberías, conexiones, válvulas, etc

El valor del peso de todos estos componentes en exceso se toma en 100 kg, por lo que el peso de construcción de cada uno de los cuatro tanques de fermentación y maduración que se disponen en la planta, sustituyendo en la [Ecuación 39] es:

$$P_{construcción} = 285,29 \text{ kg} + 279,51 \text{ kg} + 168,63 \text{ kg} + 100 \text{ kg}$$

$$P_{construcción} = 833,43 \text{ kg}$$

El recipiente se diseña con una estimación del peso de construcción en un exceso del 6 % ateniendo a la norma ASME para el diseño y cálculo de recipientes a presión [16], por lo que el peso de construcción esperado será de:

$$P_{construcción} = (833,43 \times 1,06) \text{ kg}$$

$$P_{construcción} = 883,44 \text{ kg}$$

- **Peso de operación**

El peso de operación tiene en cuenta el peso del tanque y el peso generado por el fluido en su interior:

$$P_{operación} = P_{construcción} + P_{fluido} \quad [\text{Ecuación 45}]$$

donde:

$$P_{fluido} = V_{mosto} \times \rho_{mosto} \quad [\text{Ecuación 46}]$$

$$P_{fluido} = 6 \text{ m}^3 \times 1,045 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{fluido} = 6270 \text{ kg}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 45] resulta un peso de operación del tanque de:

$$P_{operación} = 883,44 \text{ kg} + 6270 \text{ kg}$$

$$\mathbf{P_{operación} = 7153,44 \text{ kg}}$$

Una vez calculado el peso de trabajo del tanque se debe cumplir, según el código ASME división 2 sección VIII, la ecuación:

$$\sigma_{fermentador} = \frac{P_{operación}}{A_{apoyo}} \leq E \times S \quad [\text{Ecuación 47}]$$

donde:

- $\sigma_{fermentador}$: Tensión dada en el fermentador (psi)
- A_{apoyo} : Área de apoyo del fermentador

El área de apoyo del tanque se puede tomar como el área transversal del tanque de fermentación, por lo que:

$$A_{apoyo} = \frac{\pi \times D_e^2}{4}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 47] los valores correspondientes del valor de la eficiente de la junta soldada (E) y el esfuerzo máximo permisible en el tanque (S):

$$\sigma_{fermentador} = \frac{7153,44 \text{ kg}}{\frac{\pi \times (2,15 + 2 \times 5 \times 10^{-3})^2}{4}} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{0,00142 \text{ psi}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} = 2,798 \text{ psi}$$

$$\sigma_{fermentador} = 2,798 \text{ psi} \leq 0,85 \times 46000 \text{ psi}$$

Por lo que se puede dar por válido los espesores anteriormente, ya que soportan la tensión dada en el tanque de fermentación.

3 DISEÑO DE ENFRIADORES DE MOSTO

Una vez calculado el número de fermentadores necesarios para la producción de la cerveza artesanal requerida, así como su diseño y dimensionamiento, se realizan los cálculos de las necesidades frigoríficas necesarias en la planta para llevar a cabo la refrigeración del mosto hasta la T de inoculación de la levadura, como paso previo a la fermentación.

3.1. Tipo de intercambiador y selección de material

Una de las aplicaciones más importantes en la que se ve afectada un incremento en la transferencia de calor es en el diseño y cálculo de intercambiadores de calor. Estos equipos permiten variar la temperatura de dos fluidos (uno caliente y otro frío) sin necesitar del contacto entre ellos generalmente.

Los intercambiadores de calor más usados en la ingeniería de plantas industriales son los tubulares y los de placas, siempre que la diferencia de temperatura entre ambos fluidos sea baja [6].

Sin embargo, los intercambiadores tubulares en estas condiciones suelen presentar menor eficiencia que los de placas, ya que estos últimos están compuestos de estrechas y pequeñas canalizaciones que permiten mayor superficie de contacto entre fluidos.

Gracias a las condiciones moderadas de presión y temperatura dadas en la transferencia de calor entre fluidos, los intercambiadores de placas son los más empleados en la industria cervecera. Además de su gran eficiencia, estos equipos pueden aprovechar al máximo su capacidad una vez instalados si se estudian las causas de incrustación y ensuciamiento (problema más importante de estos equipos) y las condiciones óptimas de operación del proceso.

Los intercambiadores de placas constan de placas acanaladas de acero inoxidable separadas por arandelas, consiguiendo un transporte de ambos fluidos en su interior entre placas alternas con dirección en contracorriente, mejorando así la transferencia de calor.

3.2. Cálculo de corrientes de operación

Para calcular las condiciones de operación de las corrientes de mosto y agua (refrigerante común en la industria cervecera) del intercambiador de calor se realiza un balance de energía, suponiendo mismas condiciones para cada intercambiador (uno por cada línea de fermentación).

El mosto que sale tras el proceso de cocción a una temperatura teórica de 100°C necesita reducir su temperatura hasta 12 °C, como ha indicado anteriormente en la receta de la cerveza a producir.

Para ello se emplea una mezcla de agua y etilenglicol (anticongelante utilizado en refrigeración de procesos alimentarios) a una temperatura de -5°C, permitiendo la refrigeración del mosto hasta la temperatura adecuada para la fermentación.

La T^a de salida del refrigerante (suponiendo iguales volúmenes de los dos fluidos para favorecer la transferencia de calor) se realiza según las ecuaciones:

$$Q = m_{refr} \times C_{p,refr} \times (T_{s,refr} - T_{e,refr}) \quad [\text{Ecuación 48}]$$

$$Q = m_{mosto} \times C_{p,mosto} \times (T_{e,mosto} - T_{s,mosto}) \quad [\text{Ecuación 49}]$$

donde:

- Q: Potencia calorífica intercambiada entre ambos fluidos (kJ/h)
- $m_{\text{mosto}}, m_{\text{refr}}$: Caudal másico de mosto y refrigerante (kg/h)
- $C_{p,\text{mosto}}, C_{p,\text{refr}}$: Calor específico de mosto y refrigerante (kJ/kg K)
- $T_{e,\text{mosto}}, T_{s,\text{mosto}}$: Temperatura de entrada y salida del mosto (K)
- $T_{e,\text{refr}}, T_{s,\text{refr}}$: Temperatura de entrada y salida del refrigerante (K)

Suponiendo que no hay pérdidas durante el proceso de enfriado, el caudal volumétrico de ambos fluidos debe ser igual para garantizar una óptima transferencia de calor.

El caudal toma un valor igual a $1060 \frac{L}{\text{día}}$, igual al caudal volumétrico diario contenido en el fermentador, por lo que el caudal másico vendrá dado por la [Ecuación 50]:

$$m_{\text{mosto,refr}} = V_{\text{most,refr}} \times \rho_{\text{mosto,refr}} \quad [\text{Ecuación 50}]$$

La densidad del mosto se puede suponer igual a la densidad del mosto en el tanque de fermentación previo a su transformación alcohólica, ya que su composición no cambia durante el proceso de enfriado. Para el agua se supone una T^a media de la corriente de 40°C , por tanto:

$$\rho_{\text{mosto}} = \frac{1,045 \text{ kg}}{L}$$

$$\rho_{\text{refr}} = \frac{0,992 \text{ kg}}{L}$$

Como se explicó en la memoria descriptiva, la composición química del mosto es en su mayoría agua, por lo que se pueden suponer características similares para ambos fluidos, tomando un valor medio del calor específico del agua y mosto de $4,18 \text{ kJ/kg K}$.

Por tanto, conociendo todos estos parámetros se puede calcular la T de salida del agua mediante una igualdad de la [Ecuación 48] y [Ecuación 49]:

$$V_{\text{refr}} \times \rho_{\text{refr}} \times C_{p,\text{refr}} \times (T_{s,\text{refr}} - T_{e,\text{refr}}) = V_{\text{most}} \times \rho_{\text{mosto}} \times C_{p,\text{mosto}} \times (T_{e,\text{mosto}} - T_{s,\text{mosto}})$$

$$1,060 \frac{m^3}{\text{día}} \times \frac{992 \text{ kg}}{m^3} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (T_{s,\text{refr}} - (-5)) = 1,060 \frac{m^3}{\text{día}} \times \frac{1045 \text{ kg}}{m^3} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (100 - 12)$$

Despejando:

$$T_{s,\text{refr}} = 87,7^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 50] se obtienen los siguientes caudales másicos de agua y mosto:

$$m_{mosto} = 1,060 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{24 \text{ h}} \times 1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{mosto} = 46,15 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$m_{refr} = 1,060 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{24 \text{ h}} \times 992 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{refr} = 43,81 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

En la *Tabla 25* se muestran los datos de las corrientes de operación necesarios para el dimensionamiento de los intercambiadores de placas de la planta.

Tabla 25. Datos de la corriente de mosto y refrigerante en el intercambiador

	Mosto	Refrigerante
Caudal (kg/h)	46,15	43,81
Calor específico (kJ/kg K)	4,18	4,18
Densidad (kg/L)	1,045	0,992
T entrada (°C)	100	-5
T salida (°C)	12	87,7

3.3. Dimensionamiento del intercambiador de calor

Con los valores de las corrientes de ambos fluidos que se observan en la *Tabla 25* se pueden calcular los parámetros referidos a la dimensión de los intercambiadores de placas de la planta para el enfriamiento del mosto previo a la fermentación [19].

- **Superficie del intercambiador**

La ecuación de transmisión de calor nos permite calcular la superficie del intercambiador según la ecuación:

$$Q = U \times A \times DTLM \quad \text{[Ecuación 51]}$$

donde:

- Q: Potencia calorífica requerida por el intercambiador de calor (W)
- U: Coeficiente global de transmisión de calor (W/m²K)
- A: Área de intercambio de calor
- DTLM: Diferencia de temperatura logarítmica media

La potencia requerida por el intercambiador se puede calcular a partir de la [Ecuación 48]:

$$Q = \frac{43,81 \text{ kg}}{h} \times \frac{4180 \text{ J}}{\text{kg K}} \times (87,7 - (-5)) \text{ K} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$Q = 4715,49 \text{ W}$$

El coeficiente global de transmisión de calor depende de los coeficientes de calor por convección y de las resistencias por ensuciamiento y conducción, dependientes del diseño del fabricante. Para simplificar se escoge un valor de la *Tabla 26*, donde se muestra el coeficiente global aproximado para diferentes experiencias.

Tabla 26. Valores aproximados del coeficiente global de transferencia de calor (Turmero, 2005)

Situación real	U	
	Btu/h · ft ² · °F	W/m ² · °C
Pared exterior de ladrillo, yeso en el interior, sin aislar	0,45	2,55
Pared exterior estructural, yeso en el interior, sin aislar	0,25	1,42
Con aislamiento de lana de roca	0,07	0,4
Ventana de vidrio plano	1,10	6,2
Ventanas de doble vidrio plano	0,40	2,3
Condensador de vapor de agua	200-1.000	1.100-5.600
Calentador del agua de alimentación	200-1.500	1.100-8.500
Condensador de Freón-12 refrigerado con agua	50-150	280-850
Cambiador de calor agua-agua	150-300	850-1.700
Cambiador de calor de tubo con aletas, agua en los tubos, aire transversalmente a los tubos	5-10	25-55
Cambiador de calor agua-aceite	20-60	110-350
Vapor de agua-fuel oil ligero	30-60	170-340
Vapor de agua-fuel oil pesado	10-30	56-170
Vapor de agua-queroseno o gasolina	50-200	280-1.140
Cambiador de calor de tubo con aletas, vapor de agua en los tubos, aire alrededor de los tubos	5-50	28-280
Condensador de amoníaco, agua en los tubos	150-250	850-1.400
Condensador de alcohol, agua en los tubos	45-120	255-680
Cambiador de calor gas-gas	2-8	10-40

En este caso se escoge un cambiador de calor agua-agua, tomando el valor medio para el diseño de 1275 W/m²K, mientras que la diferencia de temperatura logarítmica media se puede calcular según la ecuación:

$$DTLM = \frac{(T_{e,mosto} - T_{s,mosto}) - (T_{s,agua} - T_{e,agua})}{\ln \frac{(T_{e,mosto} - T_{s,agua})}{(T_{s,mosto} - T_{e,agua})}} \quad [\text{Ecuación 52}]$$

$$DTLM = \frac{(100 - 12) - (87,7 - (-5))}{\ln \frac{(100 - 87,7)}{(12 - (-5))}}$$

$$DTLM = 14,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 51] y despejando resulta una superficie de intercambio de calor:

$$A = \frac{Q}{U \times DTLM}$$

$$A = \frac{4715,49 \text{ W}}{1275 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}} \times 14,52 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$A = 0,2547 \text{ m}^2$$

Diseñando el intercambiador con un exceso de área de intercambio del 10 % por ensuciamiento [19], queda una superficie de transferencia de calor de:

$$A = (0,2547 \times 1,1) \text{ m}^2$$

$$A = 0,28 \text{ m}^2$$

- **Anchura y longitud del intercambiador**

El área de transferencia de calor en el intercambiador de placas se puede definir como:

$$A = 2wL \quad \text{[Ecuación 53]}$$

donde w es la anchura y L es la longitud efectiva de las placas (hay zonas de no transferencia como los puertos de entrada/salida). Consultando varios catálogos de diseño se toma una relación w-L de 1-2, por lo que:

$$L = 0,53 \text{ m}$$

$$w = 0,27 \text{ m}$$

Tomando un valor de 0,2 m de longitud de la placa para zonas de no transferencia calorífica entre fluidos, la longitud y anchura de placas es:

$$L = 4,375 \text{ m}$$

$$w = 1 \text{ m}$$

3.4. Pérdida de carga

La caída de presión en el flujo entre placas se puede calcular mediante la ecuación:

$$\frac{\Delta P}{L} = 2f \times \frac{v^2 \times \rho}{D_e} \quad [\text{Ecuación 54}]$$

donde:

- ΔP : Pérdida de carga en el intercambiador (N/m^2)
- L : Longitud efectiva de las placas (m)
- v : Velocidad nominal de fluidos (m/s)
- ρ : Densidad media de fluidos (kg/m^3)
- D_e : Diámetro equivalente (m)
- f : Coeficiente de fricción

En intercambiadores de placas líquido-líquido, la velocidad nominal de fluido es generalmente de 0,3-1 m/s [19]. En este caso se tomará para el diseño un valor medio, por lo que la velocidad nominal será de 0,65 m/s. La densidad apenas varía entre mosto y agua en el intercambiador, por lo que se estima un valor de 1000 kg/m^3 .

El diámetro equivalente y el factor de fricción se pueden calcular mediante la [Ecuación 55] y [Ecuación 56]:

$$D_e = 2 \times e \quad [\text{Ecuación 55}]$$

$$f = 2,5 \times Re^{-0,3} \quad [\text{Ecuación 56}]$$

donde e es el distanciamiento entre placas (generalmente de 2-5 mm, en este caso un valor medio de 3,5 mm) y Re es el número de Reynolds, calculado como:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_e}{\mu}$$

Por tanto, sustituyendo ambas ecuaciones en la [Ecuación 54] y despejando la pérdida de carga:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{L} &= 2 \times (2,5 \times (\frac{\rho \times v \times 2 \times e}{\mu})^{-0,3}) \times \frac{v^2 \times \rho}{2 \times e} \\ \frac{\Delta P}{0,53} &= 2 \times (2,5 \times (\frac{1000 \times 0,65 \times 2 \times 3,5 \times 10^{-3}}{0,000547})^{-0,3}) \times \frac{0,5^2 \times 1000}{2 \times 3,5 \times 10^{-3}} \\ \Delta P &= 6,31 \times 10^3 \frac{N}{m^2} \end{aligned}$$

4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

En este apartado se realiza el diseño y cálculo del sistema de tuberías y accesorios necesarios para el transporte de las cuatro líneas de producción de cerveza.

4.1 Esquema general de flujo

Como alcance del proyecto se lleva a cabo el estudio del sistema de transporte necesario para el flujo del mosto desde el intercambiador que enfría el mosto tras la ebullición hasta el tanque de fermentación, así como el diseño necesario para el trasiego de la cerveza desde dicho tanque hasta el centrifugador.

El uso de éste y no de un filtro industrial es debido a la mejora del rendimiento, teniendo menos pérdidas de cerveza, a su tratamiento natural de separación por decantación y a la continuación de la carbonatación en su interior, lo que favorece una evolución organoléptica de la cerveza y un producto final con más cuerpo.

A continuación se describen todos los componentes necesarios para el transporte de la corriente de proceso, sin tener en cuenta la corriente de refrigerante, dióxido de carbono o turbios procedentes del clarificador:

- Tubería de suministro de mosto al tanque de fermentación y guarda
- Tubería de descarga del tanque y suministro del clarificador
- Bomba centrífuga de impulsión de cerveza hasta el clarificador
- Válvulas, codos y resto de accesorios

En la *Figura 33* un esquema básico del sistema de transporte de la corriente de producto alcance del proyecto:

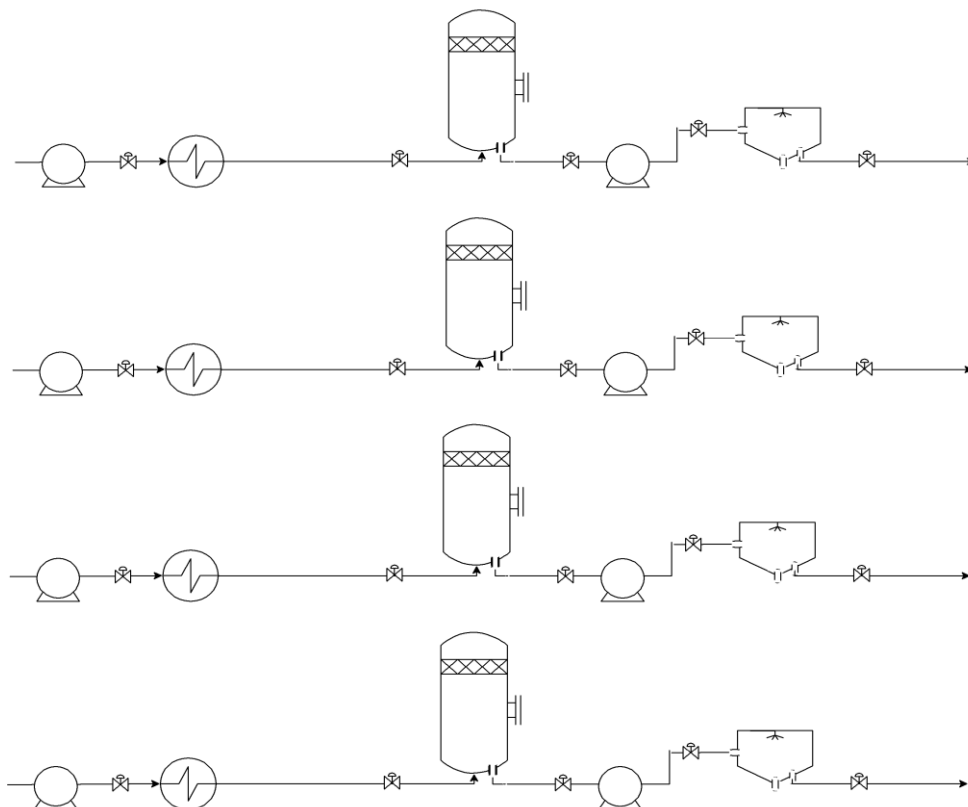


Figura 33. Esquema general del flujo de la corriente producto

4.2. Diseño de tuberías de producto

A continuación se realiza el diseño de las tuberías de suministro de mosto al fermentador y de descarga de cerveza del tanque y suministro del clarificador. Ambas son diseñadas para una línea (las cuatro tienen equipos similares para el intercambio de calor, fermentación y posterior sedimentación y por tanto, condiciones de transporte).

- **Tubería de suministro de mosto**

El caudal nominal de mosto que atraviesa el intercambiador y que debe alimentarse al fermentador y madurador cilíndrico es de 1,060 m³/día y la velocidad de diseño para el mosto se puede obtener de mediante la *Tabla 27*:

Tabla 27. Velocidad de flujo recomendada en tuberías (Ludwig, 2001)

Fluido	Velocidad de ensayo sugerida	Material de la tubería
Con sólidos	(6 Min.-15 Máx.) fps 7.5 fps	Monel o Níquel
Percloroetileno	6 fps	Acero
Vapor		
0-30 psi Saturado	4000-6000 fpm	Acero
30-150 psi Saturado o sobrecalentado	6000-10000 fpm	Acero
Más de 150 psi, sobrecalentado	6500-15000 fpm	Acero
Líneas cortas	15000 fpm (máx)	Acero
Acido sulfúrico		
88-93%	4 fps	S.S.-316, plomo
93-100%	4 fps	Acero Cat. 80
Dióxido de azufre	4000 fpm	Acero
Estireno	6 fps	Acero
Tricloroetileno	6 fps	Acero
Cloruro de vinilo	6 fps	Acero
Cloruro de vinilideno	6 fps	Acero
Agua		
Servicio promedio	3-8 (prom.6) fps	Acero
Alimentación de caldera	4-12 fps	Acero
Líneas de succión de bombas	1-5 fps	Acero
Máxima economía (usual)	7-10 fps	Acero
Agua de mar, tubería	5-8 fps (3 min.)	Concreto R. L., canal de asfalto
Agua de mar, concreto	5-12 fps (3 min.)	Saran-lined, Transite

Tomando un valor de velocidad para el flujo de mosto de 6 fps se calcula el diámetro requerido de tubería según la ecuación:

$$A = \frac{Q}{v} \quad [\text{Ecuación 57}]$$

donde A es el área transversal de la tubería a diseñar, definida según la ecuación:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 57]:

$$\frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{1,060 \frac{m^3}{día} \times \frac{día}{24 h} \times \frac{1 h}{3600 s}}{6 fps \times \frac{0,3048 \frac{m}{s}}{1 fps}}$$

$$D = 0,00292 m$$

El material típico para tuberías de flujo en la industria alimenticia debido a las ventajas mencionadas anteriormente es el acero inoxidable AISI 304, mientras que el espesor estándar adecuado para este tipo de procesos es el de la serie 40 [20].

Consultando catálogos de suministro de tuberías [17] se tienen los siguientes parámetros de diseño de la tubería de suministro de mosto:

Tabla 28. Parámetros de diseño de tubería de suministro de mosto

Diámetro nominal (DN, pulgadas)	1/8
Diámetro exterior (pulgadas)	0,405
Diámetro interior (pulgadas)	0,337
Espesor (pulgadas)	0,068
Presión de trabajo (psi)	6170
Peso aprox (lb/pie)	0,25
Cédula (Schedule)	40
Normalización estándar	ASTM A312
Material	304

- **Tubería de descarga de cerveza**

El caudal de descarga de cerveza debe ser igual al de suministro de para que no haya acumulación, por lo que conocida la velocidad se determina el área trasversal de tubería. En este caso la tubería dispone de una bomba centrífuga para favorecer la impulsión del fluido hasta la altura de entrada del clarificador, por lo que la velocidad de diseño es 3 fps (Tabla 27). Empleando la [Ecuación 57] el diámetro de tubería es:

$$D = 0,00413 m$$

Consultando el catálogo anterior de tuberías de acero inoxidable AISI 304 Schedule 40 se tienen los siguientes parámetros de diseño de la tubería de descarga:

Tabla 29. Parámetros de diseño de tubería de descarga de cerveza

Diámetro nominal (DN, pulgadas)	1/8
Diámetro exterior (pulgadas)	0,405
Diámetro interior (pulgadas)	0,337
Espesor (pulgadas)	0,068
Presión de trabajo (psi)	6170
Peso aprox (lb/pie)	0,25
Cédula (Schedule)	40
Normalización estándar	ASTM A312
Material	304

4.3. Sistema de válvulas y accesorios

Las válvulas dispuestas en la línea del fermentador-clarificador son de dos tipos diferentes:

- **Válvula de compuerta:** Se emplean en la industria alimentaria por su bajo coste y fácil diseño. Permiten o no el paso del flujo en su totalidad por levantamiento de una compuerta o cuña, como se observa en la *Figura 34*, y son recomendadas para instalaciones con pocas interrupciones, como la microcervecería. Esta válvula busca el aseguramiento del flujo y no su regulación. En este caso se sitúan a la salida del fermentador, entrada del clarificador y en el punto de succión de la bomba.



Figura 34. Estructura de una válvula de compuerta (Valvias, 2013)

- Válvula de retención: Su función es dejar circular el fluido en una dirección y no en la opuesta. En este caso se sitúa posterior a la bomba, para evitar su cebado y controlar la presión de la tubería.

En cuanto a los codos, la línea dispone de 3 de gran curvatura que conectan tuberías rectilíneas; uno en la salida del fermentador, uno en la elevación del fluido y otro en la entrada al clarificador, como se observa en la *Figura 33*.

Otro accesorio en la instalación hidráulica es la salida y entrada del tanque y centrifugador. La salida del primero se toma como embocadura ordinaria y la entrada se considera brusca, por el cambio de velocidad entre tubería y fluido en su interior, a efectos del diseño de la bomba realizados a continuación [21].

Este diseño de válvulas, codos y accesorios afectan al comportamiento del fluido durante su trasiego, debido a las pérdidas mecánicas que suponen. Las originadas por el rozamiento del fluido con el conducto se denominan pérdidas por fricción y se calculan según la ecuación:

$$h_f = 4 \times f \times \frac{L + \sum L_{eq}}{D} \times \frac{u^2}{2} \quad [\text{Ecuación 58}]$$

donde:

- f : Factor de Fanning
- L : Longitud de tubería (m)
- L_{eq} : Longitud equivalente de tubería (m)
- D : Diámetro de tubería (m)
- u : Velocidad nominal del fluido

El factor de Fanning se obtiene a partir del ábaco de Moody, representado en la *Figura 35*.

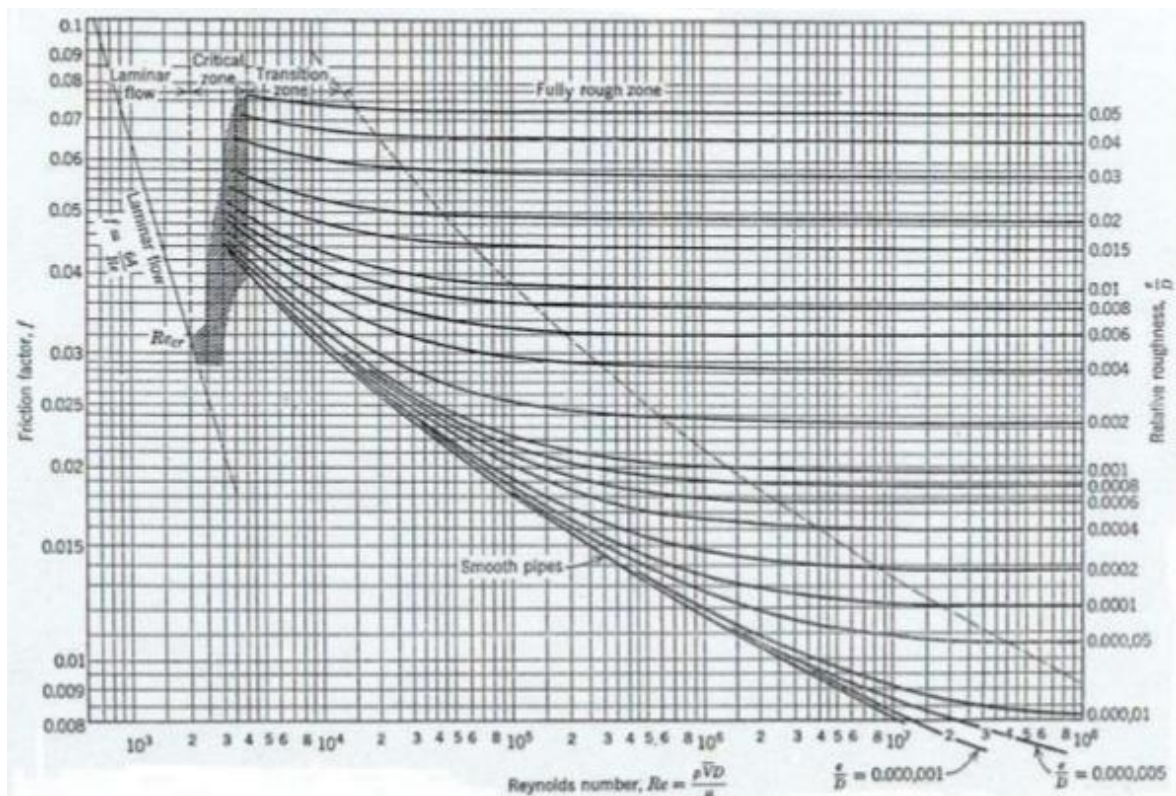


Figura 35. Ábaco de Moody para flujo en tuberías (ETSI, 2018)

Como se observa en la *Figura 35*, el factor de Fanning se determina a partir del número de Reynolds Re , mediante la [Ecuación 59], y la rugosidad relativa $\frac{\epsilon}{D}$, dependiente del material de construcción, como se puede ver en la *Figura 36*.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad [\text{Ecuación 59}]$$

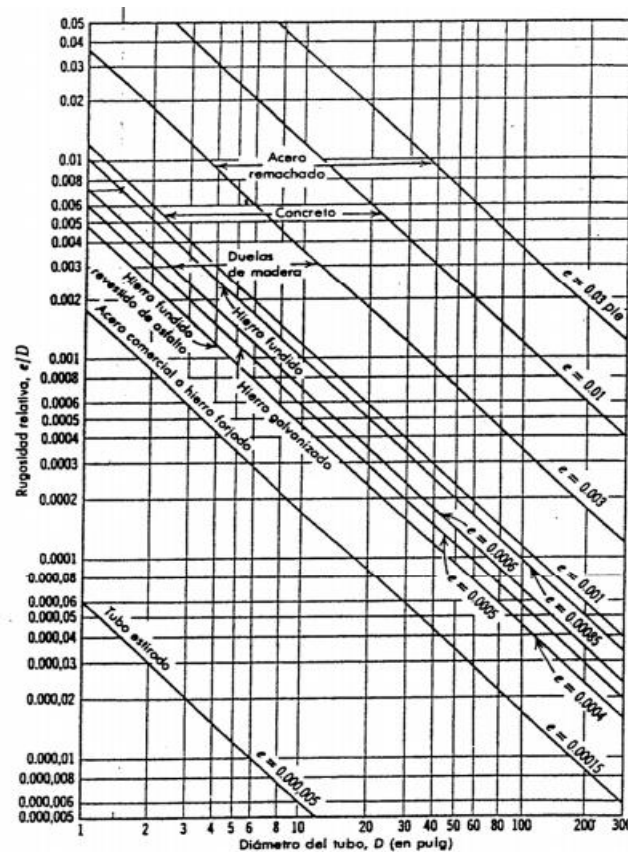


Figura 36. Gráfica de rugosidad relativa (ETSI, 2018)

Sustituyendo en la [Ecuación 59]:

$$Re = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \times 3 \text{ fps} \times \frac{0,3048 \frac{m}{s}}{1 \text{ fps}} \times 0,00413 \text{ m}}{0,000547}$$

$$Re = 6903,97$$

El diámetro de la tubería de descarga de cerveza del fermentador es de 0,405 pulg y el material de dicho tubo es acero inoxidable AISI 304, un tipo de acero comercial.

Conocida esta información y observando la *Figura 36* se obtiene un valor de la rugosidad relativa igual a:

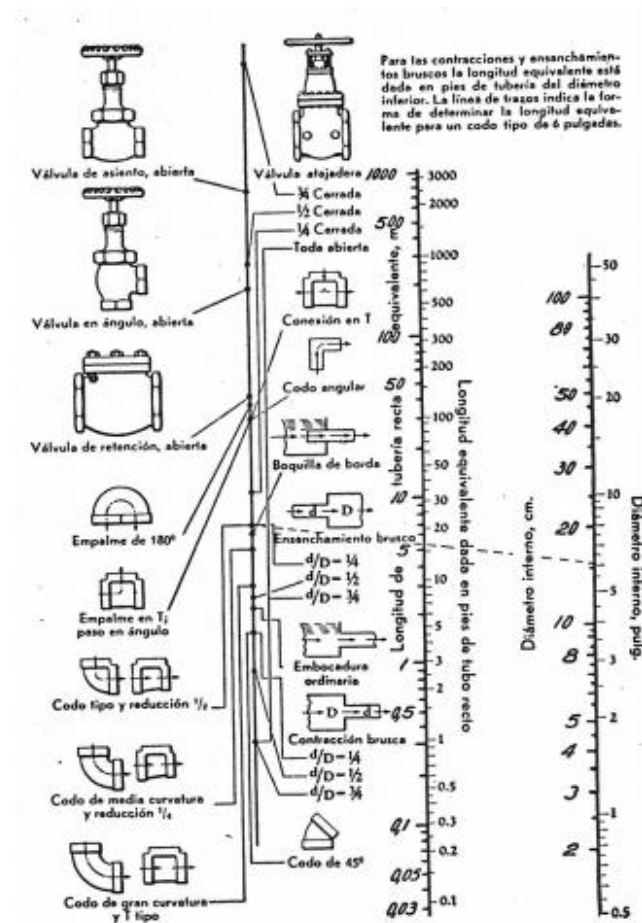
$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0018$$

Conocido el valor de ambos parámetros se obtiene un factor de fricción o *Fanning*, como se observa en la Figura 35, igual a:

$$4f = 0,036$$

La longitud de tubería que conecta a los dos equipos es de 7 metros, mientras que la longitud equivalente a pérdidas causadas por las válvulas, la embocadura ordinaria y los codos se determina a partir de la Figura 37:

Figura 37. Longitud equivalente de tubería (ETSI, 2018)



$$L_{eq} = (n_{com}^o \times L_{eq_{com}}) + (n_{ret}^o \times L_{eq_{ret}}) + (n_{cod}^o \times L_{eq_{cod}}) + (n_{emb}^o \times L_{eq_{emb}}) \text{ [Ecuación 60]}$$

$$L_{eq} = (3 \times 0,6 \text{ m}) + (1 \times 1 \text{ m}) + (3 \times 0,3 \text{ m}) + (1 \times 0,225 \text{ m})$$

$$L_{eq} = 3,925 \text{ m}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 58] las pérdidas originadas son:

$$h_f = 0,036 \times \frac{7 \text{ m} + 3,7 \text{ m}}{0,337 \text{ pulg} \times \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ pulg}}} \times \frac{(3 \text{ fps} \times \frac{1 \text{ m/s}}{3,28084 \text{ fps}})^2}{2}$$

$$h_f = 9,407 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Las pérdidas mecánicas originadas por el flujo a la entrada del centrifugador se calcula según la [Ecuación 61], tomando como se ha dicho anteriormente, una entrada brusca.

$$h_f = \sum k_j \times \frac{u^2}{2} \quad [\text{Ecuación 61}]$$

Tabla 30. Coeficiente k para cambios de sección transversal (ETSI, 2018)

	Razón del diámetro menor al mayor								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10 % de conicidad				0,35	0,25	0,20			
20 % de conicidad				0,15	0,12	0,10			
Expansión brusca	2,0								0,15
Contracción brusca	0,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,4	0,3	0,2	0,15
Entrada: Brusca			Normalmente 0,5						
Gradual			Superior a 0,5						
Tubo saliente			Normalmente 1,0						
Salida: Brusca			Normalmente 1,0						
Gradual			Superior a 0,12						

El coeficiente de resistencia k se determina a partir de la Tabla 30, obteniéndose unas pérdidas:

$$h_f = 0,5 \times \frac{(3 \text{ fps} \times \frac{1 \text{ m/s}}{3,28084 \text{ fps}})^2}{2} \quad [\text{Ecuación 62}]$$

$$h_f = 0,209 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

4.4. Diseño de bomba centrífuga

Para el diseño de la bomba centrífuga instalada en cada una de las líneas de conexión entre fermentador y clarificador se van a realizar los cálculos de los parámetros más característicos a la hora de definir este de equipo de impulsión de fluidos [21].

4.4.1. Altura desarrollada por la bomba

Si consideramos como circuito hidráulico a la conexión entre fermentador y clarificador y se toma como punto de succión (A) la superficie del fluido del interior del tanque cilindrocónico y como punto de impulsión (B) la del interior del sedimentador, se puede obtener este parámetro mediante la ecuación de *Bernouilli* definida a continuación:

$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{1}{2} v_A^2 + gZ_A + \Delta H_B = \frac{P_B}{\rho} + \frac{1}{2} v_B^2 + gZ_B \quad [\text{Ecuación 63}]$$

donde:

- P_A, P_B : Presión en el punto de succión e impulsión respectivamente (Pa)
- v_A, v_B : Velocidad en el punto de succión e impulsión respectivamente ($\frac{m}{s}$)
- ρ : Densidad de la cerveza ($\frac{kg}{m^3}$)
- g : Aceleración de la gravedad ($\frac{m^2}{s^2}$)
- Z_A, Z_B : Altura del punto de succión e impulsión respectivamente (m)
- ΔH_B : Altura desarrollada por la bomba

La presión en el punto de aspiración de la bomba se toma como la presión de operación dada en el tanque de fermentación y maduración, calculada previamente y de valor P_A igual a 25 p.s.i, mientras que en el punto de impulsión, consultando varios catálogos de suministro, se tienen valores entre 1 y 2,5 atm.

Para el diseño de la bomba se tomará un valor medio de 1,75 m, para así favorecer la separación del turbio respecto de la cerveza sin caer en un exceso de espuma.

La carbonatación producto de la fermentación en el clarificador se puede considerar despreciable frente a la dada en el propio fermentador (0,5-1 %), por lo que la presión de diseño se puede tomar como la presión de trabajo del decantador centrífugo, siendo $P_B = 1,75 \text{ atm}$.

Por su parte, la velocidad en la superficie de líquido se considera despreciable, ya que es muy inferior a la dada en el interior de la tubería por donde circula el fluido.

La altura que debe alcanzar el fluido entre el clarificador y fermentador, considerando una misma altura de la base de ambos equipos, es la diferencia de altura por la entrada de suministro.

Consultando varias fuentes de diseño de equipos para microcervecería se obtiene un volumen de clarificador similar al volumen de producción diaria, en este caso un volumen de 1 m^3 . Para sedimentadores de tal capacidad, se obtiene una altura total de equipo de 1,950 m, mientras que el volumen y altura que alcanza la cerveza es en torno al 1/3 del total del recipiente. Despejando la [Ecuación 63] resulta un ΔH_B :

$$\Delta H_B = \frac{\left(1,75 \text{ atm} \times \frac{101325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}}\right) - \left(25 \text{ p.s.i} \times \frac{6894,76 \text{ Pa}}{1 \text{ p.s.i}}\right)}{1000 \frac{kg}{m^3}} + 9,8 \frac{m}{s^2} \times \frac{1,950 \text{ m}}{3}$$
$$\Delta H_B = 11,32 \frac{m^2}{s^2}$$

lo que equivale a una altura en metros (dividido por la aceleración de la gravedad) igual a:

$$\Delta H_B = 1,16 \text{ m}$$

4.4.2. Altura neta positiva de succión

Si la presión se encuentra por debajo de la presión de vapor en algún punto del sistema, se produce una vaporización conocida como de cavitación, la cual se debe evitar para no producir una operación anormal de la bomba, una pérdida de rendimiento e incluso la destrucción de los equipos de la microcervecería.

El grado de cercanía o lejanía de esta situación se puede describir con el parámetro de altura neta positiva de succión, definida como la diferencia de alturas entre el fluido en la aspiración y la del fluido a la presión de vapor (como simplificación, agua en su totalidad a una T^a de 12°C) cuando se encuentra en reposo.

Se tiene por tanto así la [Ecuación 64]:

$$NPSH = \frac{P_{A'}}{\rho} + \frac{1}{2} v_A^2 - \frac{P_V}{\rho} \quad [\text{Ecuación 64}]$$

Sin embargo, este valor no es objetivo para definir la bomba del sistema. La altura real de elevación del fluido desde el punto de succión debe tener en cuenta las pérdidas por fricción y accesorios producidas en el sistema hidráulico en ese tramo.

4.4.3. $NPSH|_d$

Si se toma A' como el punto anterior a la bomba y conocida la [Ecuación 63], se relacionan las presiones en los extremos del tramo de aspiración como:

$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{1}{2} v_A^2 + gZ_A = \frac{P_{A'}}{\rho} + \frac{1}{2} v_{A'}^2 + gZ_{A'} + h_{fAA'}$$

Sustituyendo en la [Ecuación 64] resulta una altura neta positiva de succión disponible de la bomba de valor:

$$NPSH|_d = \frac{P_A}{\rho} + \frac{1}{2} v_A^2 + gZ_A - gZ_{A'} - \frac{P_V}{\rho} - h_{fAA'}$$

La presión en el punto de succión es conocida y la velocidad considerada nula, como se ha dicho anteriormente, por lo que considerando una altura a la entrada del circuito cota 0 y el punto de aspiración como la mitad del circuito, se obtiene las pérdidas mecánicas mediante la [Ecuación 62] y [Ecuación 64]:

$$h_{fAA'} = 0,036 \times \frac{3,5 + (2 \times 0,6 \text{ m}) + (2 \times 0,3) + (1 \times 0,225 \text{ m})}{0,337 \text{ pulg} \times \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ pulg}}} \times \frac{\left(3 \text{ fps} \times \frac{1 \text{ m/s}}{3,28084 \text{ fps}}\right)^2}{2}$$

$$h_{fAA'} = 4,857 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$NPSH|_d = \frac{25 \text{ p.s.i} \times \frac{6894,76 \text{ Pa}}{1 \text{ p.s.i}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} - 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \frac{1,950 \text{ m}}{3 \times 2} - \frac{1402,782 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} - 4,857 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$NPSH|_d = 162,92 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$NPSH|_d = \mathbf{16,62 \text{ m}}$$

4.4.4. Potencia

La potencia absorbida por el fluido para llevar a cabo el trasiego se puede calcular según la fórmula:

$$P_f = \rho \times Q \times \Delta H_B \quad [\text{Ecuación 65}]$$

$$P_f = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,060 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}} \times 11,32 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \times \frac{0,00134102 \text{ HP}}{1 \text{ W}}$$

$$P_f = 1,862 \times 10^{-4} \text{ HP}$$

Para calcular la potencia real consumida por la bomba consideramos una eficiencia de ésta del 85 %, obteniendo así una potencia total de valor:

$$P = P_f / \eta_B \quad [\text{Ecuación 66}]$$

$$P = 2,2 \times 10^{-4} \text{ HP}$$

Para la planta se escoge una bomba centrífuga de acero inoxidable AISI 316, de potencia ¼ HP, ya que éste es el mínimo valor que se da usualmente en las cerveceras y con una velocidad de 2800 rpm.



104

PLIEGO DE CONDICIONES

El presente pliego de condiciones tiene como objetivo presentar aquellas regulaciones exigibles y condiciones legales en materia técnica y calidad al promotor, contratista e ingeniero, y necesarias para llevar a cabo el proceso de implantación de la fábrica de cerveza artesanal y que da título al proyecto.

Pliego de condiciones generales

El contrato de obra

- La ejecución de la obra se recomienda realizarse en unidades de obra suministradas por el director de obra para la realización del contrato. En caso de ausencia o cualquier tipo de fallo en la relación de los documentos de la obra, la prioridad a la hora de tener en cuenta el valor de éstos y los cuales componen los documentos del presente proyecto son:
 - Especificaciones fijadas por la empresa o contrato de obra
 - Pliego de especificaciones técnicas
 - Pliego de condiciones generales
 - Resto de los documentos que componen la memoria de este proyecto (memoria, planos, medición o presupuesto)
- Siempre se llevará a cabo teniendo en cuenta las limitaciones impuestas en el proyecto en cuanto a dimensionamiento y cimentación del solar, respetando la normativa urbanística y ordenanza vigente.
- La adjudicación al contratista de la obra se hará de forma pública siempre que una de las partes lo requiera, indicando si existe el recibo de la fianza y el compromiso de cumplimiento del contratista respecto a todos los documentos necesarios para llevar a cabo la obra, siempre pudiendo hacer una copia de éstos.
- Siempre que exista cualquier tipo de controversia entre las diferentes responsabilidades se llevará a cabo por el tribunal de administración mediante las órdenes jurídicas existentes en la zona donde se ubique la obra y en caso de existir alguna anomalía en la ejecución de la obra respecto a los documentos del contrato y proyecto se culpabilizará al contratista, quien no podrá excusarse en la aprobación de la dirección facultativa en las inspecciones de ejecución.
- Es obligatorio el cumplimiento del RD.1627/1997 y demás normativa relativa a las condiciones mínimas de seguridad y salud en la construcción y su control e inspección durante la obra y mantenimiento es responsabilidad del coordinador de seguridad y salud de la obra mediante el plan redactado por el contratista.

Condiciones laborales, materiales y de medios auxiliares

- Todo daño material causado durante la ejecución tanto en la obra como en su colindancia, ya sea por negligencia o descuido se relacionará con el contratista, así como cualquier daño a terceros que derive de él u otro subcontratista.
- En caso de necesitar de cualquier documento, normativa o acuerdo y en cuyo proyecto no se redacta, se presta un servicio a contratista y promotor en el que se supone que ambas partes mantienen una buena relación y siempre llegarán a un acuerdo cuya fin es la correcta ejecución de la obra.
- Es obligación del contratista controlar el acceso y limitaciones de la obra, teniendo que realizar cualquiera de los cambios que el director de la obra crea conveniente en este aspecto.

Además, es su responsabilidad marcar la fecha de comienzo de la obra, cumpliendo los plazos previstos de ejecución descritos en el contrato y presentándolos por escrito con al menos tres días de antelación.

- La secuencia en la que se realicen los trabajos de la obra serán controlados, de manera general, por el contratista, y siempre que la dirección facultativa lo estime oportuno, éste cederá el control del trabajo a otros contratistas o subcontratistas presentes en la obra.
- En caso de ampliación del proyecto se seguirá el orden de trabajo regido por el contratista hasta nueva orden de reformación, pudiendo éste solicitar mayor información al director de obra o director de ejecución sobre alguna aclaración o interpretación para la proyección de la obra.
- En caso de presentar retrasos o imposibilidad de finalizar la obra por fuerza mayor, el contratista debe redactar un documento al director de obra sobre la causa que origina el imprevisto, y si en cuyo caso es favorable, debe recibir una prórroga para su cumplimiento.
- Los defectos causados en la edificación durante la ejecución de la obra y su periodo de garantía prescrito en la Ley de Ordenación de la Edificación de 38/1999 serán relacionados con el contratista, así como el resto de normativa que pueda derivarse en este ámbito.
- Tendrá además la oportunidad de contar con todo tipo de material y equipos necesarios para llevar a cabo la ejecución de la obra, siempre que no se contradiga con ninguna característica impuesta en el proyecto y además, presente ante el director de la obra una lista con todos los materiales y equipos en el cual indique sus características, calidad y procedencia entre otros. En caso de no cumplir con las características requeridas, el director de obra dará las instrucciones al contratista para sustituir los materiales y equipos defectuosos por aquellos que cumplan con las condiciones dispuestas en el proyecto.
- El contratista se hará cargo de la retirada de todo sobrante generado durante la ejecución de la obra, siendo de su responsabilidad mantener un aspecto limpio y ordenado del edificio y su alrededor. Además, todos aquellos trabajos de ejecución de obra no redactados en el pliego ni en los demás documentos del proyecto serán controlados por la dirección facultativa, y en cuyo caso no existieran, el contratista se ayudará de las prácticas de buena construcción.

Entrega de la obra

- La recepción de la obra es el momento en el que el contratista entrega ésta al promotor mediante un acta firmada por ambas partes donde conste que tanto uno como otro son enterados del acta. Además, en él se debe dejar claro que la entrega se realiza de la obra en su totalidad, indicando el coste material que ha supuesto y declarando la recepción de la obra, ya sea con o sin reservas.
- El acta de entrega se debe realizar antes de los 30 días posteriores a la fecha de finalización, dejándolo constatado junto a las garantías exigidas al contratista. También debe presentar el certificado final del director de obra y director de ejecución de obra, y en caso de ser rechazada por el promotor debido a que éste no crea que la obra esté finalizada, deberá dejarlo por escrito para acordar una nueva fecha de recepción.
- Durante la entrega, el director de ejecución, contratista y demás técnicos facultativos redactarán y entregarán al promotor aquellos documentos necesarios para finalizar la obra como el Manual de Uso y Mantenimiento del Edificio, de acuerdo con la legislativa vigente.
- Treinta días antes de haber finalizado la obra, se lleva a cabo una reunión con el contratista, el promotor, el director de obra, el director de ejecución de obra y todos aquellos participantes que hayan intervenido en la dirección del proyecto, conocida como recepción provisional y en la cual se redacte un acta firmado por todos ellos indicando que la obra está a punto de finalizar mediante un detenido reconocimiento de toda la obra.
- El director de ejecución de la obra llevará a cabo, junto al contratista, la exacta medición de la obra tras la entrega de la recepción provisional en un escrito que sirva al promotor para abonar la cantidad total menos la dispuesta en la fianza.

Durante los seis meses posteriores a la recepción provisional (mínimo), el promotor puede ocupar el edificio siempre que cargue con los gastos, exceptuando los de conservación del edificio y aquellos que deriven de defectos de ejecución. Transcurrido el periodo de garantía, se realiza la entrega definitiva de la obra al promotor, cargando éste ahora con todos los gastos de la edificación relacionados con la conservación normal del edificio.

Pliego de condiciones facultativas

En este apartado se redacta y regula las atribuciones de las diferentes funcionalidades intervinientes en la contrata mediante la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación para la instalación y adecuación de la obra.

La dirección facultativa

- La dirección facultativa está compuesta por la dirección de obra y la dirección de ejecución de obra, además del coordinador en materia de seguridad y salud si ninguna de las dos anteriores contempla dicha funcionalidad.
- Para el contratista es la referencia técnica a la que dirigirse en cuanto a la gestión y ejecución de la obra, la cual dependerá de las distintas funcionalidades técnicas presentes en dicho proyecto y a quienes controlarán mediante visitas cuya cantidad y periodicidad variará según el trabajo y fase de la obra.

Definiciones de los agentes de edificación

- El contratista es la persona física o jurídica encargada de decidir, impulsar y financiar una obra para su posesión o enajenación a terceros bajo un título. Asume todas las responsabilidades relacionadas con la gestión económica, como la gestión con sociedades cooperativas o comunidad de propietarios entre otras, y se regulará según la legislación de contratos de la Administración Pública.
- El proyectista es la persona encargada de redactar el proyecto, el cual podrá contener proyectos parciales o complementarios siempre que tengan cada uno su titularidad individual, además de ser siempre redactados bajo la normativa técnica y urbanística correspondiente.
- El contratista es la persona responsable de llevar a cabo la obra con recursos humanos y materiales propios o ajenos mediante las relaciones y normativas dispuestas en el contrato y el propio proyecto redactado.
- El director de obra es el encargado de organizar y controlar el desarrollo de la obra tanto en el ámbito técnico como urbanístico y medioambiental. Para ello deberá seguir las condiciones impuestas en el proyecto y contrato, así como la normativa de edificación vigente, con el fin de realizar la obra de acuerdo a lo esperado, pudiendo tener técnicos de dirección de obra siempre que sean coordinados por la dirección.
- El director de ejecución de la obra por su parte tiene como objetivo dirigir la construcción material y la calidad de lo edificado. Para ello deberá hacer un estudio previo sobre la redacción del director de obra, al cual podrá solicitar toda aclaración necesaria para llevarlo a cabo de manera adecuada, siempre que sea de su competencia.
- Además de estas cinco funcionalidades intervienen en el proceso de edificación otros agentes, como aquellas entidades encargadas de realizar inspecciones técnicas de calidad de ejecución y material, los laboratorios cuya función es controlar la calidad de materiales y equipos de instalación mediante pruebas y ensayos o los propios suministradores de producto para la construcción.

Delimitación funcional técnica

- El promotor debe gestionarla obtención del derecho a edificación en el terreno solicitado y del resto de permisos y licencias necesarias para la construcción y ocupación, así como solicitar los agentes intervinientes necesarios para llevar a cabo el proyecto en el marco legal y de manera adecuada, estando entre ellos los coordinadores de toda materia, como el ámbito de seguridad y salud, todo ello bajo el RD 1627/1997 de Condiciones Mínimas de Seguridad y Salud en la Construcción.
- También es responsabilidad del promotor el consentimiento de cualquier posible modificación que ayude a avanzar y adecuar el proyecto a lo redactado y responsabilizarse de cualquier daño material por agentes propios o externos, debiendo obtener un seguro que cubra todo daño en cuanto a habitabilidad y estructura en los tres y diez años próximos a la entrega del edificio, respectivamente.
- Una vez finalizada la obra, es competencia del promotor aceptarla y dar el visto bueno a lo proyectado en el acta de entrega, así como entregar el Libro de Edificio al usuario inicial del edificio y demás documentos necesarios y exigibles por las autoridades competentes.
- Por su parte, el contratista tiene como máxima responsabilidad llevar a cabo dentro de los plazos previstos la construcción del proyecto, contando para ello con los medios, materiales e instalaciones necesarias y siguiendo un orden adecuado de trabajo, debiendo tener un título que le acredite tener los conocimientos requeridos para llevar el trabajo correctamente y bajo las condiciones legales exigidas, siempre bajo una estricta supervisión de la calidad y documentación exigible del material empleado en la obra.
- Es obligación del contratista garantizar el Plan de Seguridad y Salud de cada subcontratista en función de su trabajo, y deberá tomar todas las medidas necesarias en prevención de riesgos laborales, protegiendo y supervisando a todos los trabajadores durante la ejecución de la obra y adecuada a la legislación vigente, dejando por escrito en el plan de seguridad las medidas y decisiones tomadas tanto en materia de seguridad, salud y prevención de riesgos en el trabajo.
- El contratista debe revisar todo el proyecto de ejecución y documentos complementarios, solicitando en caso de duda, la aclaración pertinente al redactor del proyecto. Debe conocer las leyes generales sobre construcción y ponerlo en práctica, siendo el jefe de todo empleado de la obra y debiendo coordinar, como se ha dicho anteriormente, las tareas de los subcontratistas. Deberá agilizar la obra para finalizarla en los plazos previstos, teniendo en todo momento el número adecuado de trabajadores de cada categoría, evitando así interferencias en la planificación y trabajo de la obra.
- Facilitará y ayudará en el replanteo al director de ejecución y deberá firmar el acta de inicio y entrega de obra, además de ayudar en la documentación de obra finalizada y suscribiendo las garantías dispuestas por la Ley de Ordenación de la Edificación del RD 38/1999.
- En el caso del proyectista, será de su responsabilidad redactar el proyecto bajo la normativa en técnica y urbanística, con la licencia de obra y los permisos administrativos necesarios tanto para ser validada, como para ser interpretada y ejecutada.
- Una vez redactado el proyecto, entregará al promotor y director de obra varias copias una vez validado por el colegio profesional pertinente, definiendo con todo detalle tanto gráfico como escrito las dimensiones generales del edificio, sobre todo de cimentación y estructura. Además, deberá disponer de los espacios necesarios para la correcta determinación y especificación del proyecto, el cual nunca deberá contradecir al proyecto de ejecución.
- El proyectista deberá complementar correctamente la documentación de los proyectos parciales exigidos por autoridades competentes al proyecto de edificación, escritos por técnicos cualificados con responsabilidad propia y suscritos en persona física. En caso de redactar documentos de competencia ajena, podrá solicitar la compensación económica determinada y los derechos de autor.
- Es por ello que el proyectista de la obra deberá ostentar la propiedad intelectual de todo lo escrito y calculado en el proyecto, así como los planos y demás documentos complementarios y necesarios para la redacción del proyecto.

- El director de obra tiene como objetivo dirigir la obra asistencialmente junto con la directiva de ejecución, con las instrucciones necesarias y recogidas en el Libro de Órdenes y Asistencia, aclarando a ésta cualquier duda sobre la interpretación del proyecto tanto técnica como económicamente, así como dar la orden de detección en caso de alguna situación grave, comunicándolo expresamente al promotor.
- A su vez, el director de obra tiene la potestad de modificar y ajustar previa información al promotor, los documentos y planos complementarios que faciliten y adecuen el trabajo en la obra, debiendo redactar únicamente aquellos dimensionamientos y recálculos relacionados con la cimentación y la estructura del edificio, y firmando tanto el acta de comienzo de obra como el de entrega, además de todas las entregas de unidades de obra parciales.
- Deberá a su vez el director de obra redactar el la documentación de fin de obra e incluir los proyectos y estudios complementarios, debiendo controlar mediante directrices generales la edificación durante todo el plazo previsto, siendo una falta grave aquel impedimento o voluntad de no realizar alguna de sus indicaciones.
- La dirección exacta y ordenada de cada fase de la obra la lleva el director de ejecución mediante la memoria, los planos y las directrices específicas del director de obra. Deberá controlar a su vez la recepción de todos los materiales y medios suministrados necesarios para llevar a cabo la construcción, teniendo total potestad para aceptar o rechazar un producto bajo una correcta justificación.
- El director de ejecución debe tener controlado los tiempos de trabajo de los agentes intervinientes, así como una inspección detallada de la correcta ejecución de la obra, su dimensionamiento y todos los elementos constructivos, dando las respectivas instrucciones a contratista y subcontratistas generadas en el Libro de Órdenes y Asistencias.
- En caso de ver oportuna una parada de la obra tras por un fallo o causa grave, el director de ejecución deberá comunicarlo justificadamente al director de obra y al promotor, quien además tiene la competencia de realizar las pruebas y ensayos de calidad a todos los elementos estructurales y de ejecución y su posterior redacción de resultados en el documento finalización de la obra.
- El director de ejecución deberá emitir los certificados de las unidades de obra y firmar el acta final de entrega una vez ejecutada la obra en su totalidad, en la que debe ayudar de manera activa y pasiva para llevar a cabo la construcción en los plazos previstos.

Pliego de condiciones económicas

Las condiciones económicas descritas en el presente pliego sirven como ayuda complementaria al contrato de obra dispuesto entre el propietario y la contrata, mediante una serie de regulaciones y disposiciones relacionado con el alta y entrega de la obra.

Aspectos generales

- El contrato de obra debe realizarse antes del inicio para evitar el trabajo administrativo durante la obra, dejando claro en el escrito el derecho de cada interviniente del proyecto a recibir su partida económica mediante arreglo a las condiciones establecidas en el contrato.
- En el acuerdo entre promotor y contratista debe de estar indicado todo lo necesario para que la dirección facultativa dirija y controle la obra sin necesitar ningún tipo de aclaración, siendo indispensable en el ámbito económico el presupuesto de la contrata, la revisión de los precios, el gasto por conexión a la red eléctrica y su consumo, los certificados de pago y la cuantía en concepto de garantía.

La fianza

- El contratista deberá aportar la cantidad acordada en el contrato de la obra para la fianza, por metálico o mediante un aval bancario. En caso de negarse a terminar las unidades de obra necesarias, el director de obra podrá finalizar la ejecución de la edificación, mandar a un tercero para ello o bien depositar la cantidad necesaria para la finalización con la fianza a administración, cargando a ésta cualquier demora en los plazos de entrega o reparaciones necesarias para la entrega de la obra en las condiciones contractuales estipuladas.
- En caso de realizar y terminar todas las tareas y trabajos de cada unidad de obra, la fianza se le devolverá al contratista en un máximo de 30 días después del acta de recepción final de la obra o bien la cantidad proporcional a una recepción parcial del proyecto del 5 %, y deberá siempre que se le exija, presentar todas las liquidaciones y subsanaciones de deudas posibles en cuanto a salarios y demás pagos.

El precio

- El presupuesto tiene como objetivo presentar un informe de los costes necesarios para la edificación del proyecto y se compone de precios básicos y precios unitarios. El precio básico es aquel dispuesto por unidad de material para la construcción, maquinaria (amortización) o mano de obra.
- Los precios unitarios reflejan el coste de cada unidad de obra del proyecto de ejecución y se componen de los costes directos, aquellos calculados como la suma de cada precio unitario por la cantidad correspondiente de unidad de obra y los precios auxiliares, complementarios a los primeros como un porcentaje de la unidad y que incluyen los gastos por energía, etc.
- Existe además los denominados costes indirectos que se aplican, salvo determinadas ocasiones en la que el contratista lo vea justificable, como un porcentaje del total de los costes directos y auxiliares de cada unidad de la obra y que son necesarios para la ejecución del proyecto. Entre ellos se encuentran los costes de comunicación, casetillas provisionales para la construcción, talleres o imprevistos.
- El presupuesto se puede presentar de tres maneras diferentes. El primer es el de ejecución material (PEM) y que es la suma de los costes de cada unidad de obra. El segundo es el presupuesto de contrata, que suma al de ejecución material el beneficio industrial a la contrata (en torno al 6 %) y los gastos generales (gastos financieros, cargas fiscales, etc y aplicados generalmente en torno al 13 % de los costes de obra). Por último, el presupuesto total es el que a la suma anterior le incluye el impuesto de valor añadido del 21%, así como los honorarios del proyectista, dirección facultativa y coordinación en seguridad y salud junto a sus correspondientes impuestos aplicados al PEM, y la licencia de obra, de valor en torno al 2-4 % del presupuesto de contrata.
- En caso de que el promotor crea necesario el cambio del cuadro de precio de una unidad de obra del presupuesto, lo comunicará al director de obra para que éste llegue a un acuerdo con el contratista, siempre antes de la ejecución de la obra ya que una vez firmado, éste último uno tendrá derecho a ningún cambio en los precios de ninguna unidad de obra.

Evaluación laboral

- El pago a los agentes de la obra la realizará el promotor mediante certificaciones estipuladas por el director de ejecución de la obra, cuyas condiciones deberán recogerse en el contrato y quien deberá llevar a cabo la medición de ejecución de cada unidad de obra según las preinscripciones dispuestas en el proyecto.
- Las certificaciones serán los resultados de multiplicar el precio de ejecución de unidad de obra establecido por el tiempo empleado en horas reales de trabajo, para lo cual el contratista deberá redactar las relaciones de obras ejecutadas a través de la medición realizada por el director de ejecución mencionada anteriormente.
- El exceso de horas de trabajo no indicadas en el proyecto por cualquier circunstancia no se tendrán en cuenta para las certificaciones.

- No se incluirán en el presupuesto aquellos excesos de precio que el contratista empleara por voluntad propia para materiales y medios de construcción de mayor calidad o exigencia que la indicada en el proyecto, de tal forma éste último no tendrá la oportunidad de recibir mayor cantidad que la indicada para el precio básico generado en el presupuesto.
- El abono de trabajos especiales y no ordinarios requeridos para alguna unidad de la obra que no estén dentro del contrato los realizará el contratista, a quien le será abonado por el promotor la correspondiente cifra bajo las condiciones especificadas en el proyecto.
- Para los trabajos realizados durante el periodo de garantía por demora una vez realizada la recepción provisional, se valorará el precio bajo preinscripciones del proyecto, mientras que los gastos por cualquier deficiencia de construcción durante su uso no le serán abonados al contratista.

Liquidación

- Una vez cumplido con todas las certificaciones por parte del promotor se lleva a cabo el acta de liquidación económica, que dará lugar a la recepción provisional de las obras bajo la conformidad de la dirección de obra.
- Bajo la conformidad de promotor, contratista y dirección facultativa se hace entrega de las llaves, proyectos y documentos de permisos legales y cumplimentados con la normativa vigente al promotor del proyecto, momento en el que éste será responsable de la conservación y responsabilidad del edificio y su uso.

Pliego de condiciones técnicas

Especificaciones de los materiales y elementos constitutivos

- Como menciona el RD 314/2006 en el código técnico de especificación, el proyecto debe contener todas las condiciones relativas a los materiales y equipos suministrados para la ejecución del proyecto, cuyo control se puede dar por documentación técnica, evaluaciones de calidad o por ensayos, siendo responsabilidad del contratista detallar las condiciones técnicas exigidas al proveedor ayudándose del director de obra y los diferentes laboratorios de calidad existentes.
 - Antes del comienzo de la obra el director de ejecución debe dar el visto bueno y en caso de hallar durante la construcción algún material o medio defectuoso se eliminará de la obra, corriendo a cargo del contratista la responsabilidad y el costo ocasionado.
 - Es responsabilidad del director de ejecución de la obra comprobar que los suministros para la fabricación afectados por la marca CE (Conformidad Europea), cuya pedido y procedencia es voluntad del contratista, cumplan con los requisitos legales y las disposiciones técnicas para su aplicación del RD 1630/1992. Además de verificar así las prestaciones del producto, el director de ejecución dispone de la información complementaria al etiquetado CE y el cual debe incluir el número de identificación del organismo, el nombre del de la empresa de la fábrica y del fabricante y su dirección.
 - En cuanto a las condiciones técnicas de cada material, el hormigón debe suministrarse indicando el contenido de de cementos en kilogramo por metro cúbico con una tolerancia de 15 kg y su relación con el agua con una tolerancia de 0,02. Debe transportarse y usarse sin que se vean modificadas sus propiedades estructurales ni se produzca la disgregación de la mezcla, para lo que se le harán ensayos según la instrucción de hormigón (EHE-08).
 - El acero para hormigón armado debe transportarse con recubrimiento que lo proteja de lluvias y fenómenos ambientales, de tal forma que se suministren con las características mecánicas mínimas garantizadas y dispuestas en las hojas de suministro de identificación del acero.
- Para la comprobación de los requisitos exigibles por parte de la dirección facultativa se llevarán a cabo los ensayos según la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).

- El acero para laminado debe transportarse bajo el control de su estructura, garantizando que no se deforme y comprobando sus propiedades o características demandadas mediante la normativa vigente al igual que el mortero, suministrado por partes, separando el cemento con sacos de la arena a granel y del agua, utilizada de la red potable, y almacenándolo en silos que lo protejan de lluvia y viento.
- Los conglomerantes como el cemento se deben controlar por debajo de los 40 °C para su manipulación y controlar que no presentan condiciones de endurecimiento. Una vez recibida la información requerida al fabricante, se comprueba sus propiedades mediante ensayos según la instrucción para la recepción de cementos (RC-16).
- Los cerámicos como el ladrillo se suministran en pallets, humedecidos del ambiente y empaquetados hasta su uso, de tal forma que mantenga sus propiedades y características según la normativa vigente y las placas de yeso deben suministrarse en pallets y apareadas entre cartones para evitar posibles choques con las instalaciones y movimientos de la carga.
- Los aislantes deben suministrarse en paneles con film de plástico y protegerlos del sol y viento. Además, deberán presentar el valor de resistencia al agua en caso de ser utilizado para cerramiento exterior y seguir las especificaciones del fabricante para su manipulación y uso.
- El vidrio para la construcción debe suministrarse apilado en grupos de no más de 40 cm de espesor, con corcho entre cada unidad para favorecer la entrada de aire. Antes de su uso deben almacenarse verticalmente y con un máximo de 6 ° de inclinación, además de estar protegidos de tal forma que evite golpes, roturas y interacciones químicas con el sol.
- Además de estos elementos básicos en la construcción del proyecto hay otros auxiliares que son necesarios para la adecuación del edificio como son los conductos de polietileno, de policloruro de vinilo rígido (PVC-U), de cobre, de plástico o de acero, con su correspondiente marcado de CE que verifiquen la adecuación del producto para su aplicación y con los ensayos de propiedades y características de cada uno de ellos de acuerdo a la normativa vigente.

La ejecución de la obra

- Las unidades de obra para la edificación del proyecto se pueden desglosar en la adecuación del terreno, la superficie para la cimentación del terreno, la ejecución de estructuras, peso de estructuras metálicas y forjados, los muros estructurales, las fachadas y sus divisiones internas, el desarrollo de las instalaciones ejecutadas y los revestimientos de los huecos y acabados.
- Cada unidad de obra debe presentar las condiciones que garanticen la complementariedad de los elementos y medios que componen la unidad, especificando en cada una de ellas los elementos que contienen con la nomenclatura correspondiente según la normativa, indicada también en cada elemento de construcción.
- Antes de comenzar la ejecución de la obra, cada unidad debe presentar las garantías de que el material empleado para ello cumple los requisitos exigidos por el proyectista, así como los documentos y certificados que acrediten a su realización. Para algunos trabajos el contratista deberá presentar al director de ejecución los documentos que acrediten y garanticen la cualificación del personal de la obra.
- Para cada unidad de obra se deberá explicar las fases de ejecución y detallar el procedimiento de cada una de ellas que cumplan con las condiciones exigidas en el proyecto, teniendo alguna de ellas unas determinadas condiciones de finalización que garanticen la no alteración de las condiciones de otras unidades de obra.
- Las pruebas de servicio las podrá realizar presencialmente el contratista y la empresa instaladora, debiendo estar incluido su costo en el precio total de la unidad de obra, con sus respectivas condiciones de aseguramiento para la conservación hasta la medición y abono de cada unidad de obra una vez superado los controles y las pruebas de calidad.
- En cuanto a la ejecución de la planta de cerveza, el diseño y distribución de los materiales y equipos es dirigida por la dirección técnica.

- El montaje, puesta en marcha y control de cada equipo es indicado paso a paso por el fabricante y cuyo resto de ejecución no indicado anteriormente correrá a cargo del director de obra y director de ejecución de obra, siempre bajo el permiso de la contrata.

Pliego de seguridad contra incendios

- Los materiales suministrados para la ejecución de la obra deben estar clasificados en función de su resistencia al fuego como indica el RD 312/2005, y en el caso de no encontrarse en dicha lista, dicho elemento será certificado mediante ensayos que determinen su nivel de combustibilidad, realizados por entidades homologadas para ello.
- Aquellos materiales modificados mediante ignifugado por un laboratorio homologado para aumentar su resistencia al fuego deben indicar sus propiedades de resistencia al fuego (aislamiento, cierre automático o capacidad de protección contraincendios entre otras), y el tiempo de durabilidad de su ignifugación para ser sustituido por otro material con mismas propiedades.
- Asimismo, los ensayos y procedimientos para la ignifugación de los materiales constructivos así como su grado de combustibilidad y el tiempo de conservación de sus propiedades se indican en el RD 312/2005, debiendo demostrar las empresas certificadoras que las pruebas para su documentación se han realizado de manera satisfactoria ante la dirección del proyecto.
- Las instalaciones del edificio deben cumplir con el documento básico de seguridad contra incendios en cuanto al paso a través de los elementos compartimentados para incendios y las instalaciones de protección contra incendios deben estar homologadas con los extintores móviles (menores de 20 kg) identificados y que cumplan los requisitos legales y de eficacia pertenecientes a la normativa UNE 23-110/75/80/82.
- Los tipos de extintores diferentes se instalarán según la clase del fuego recogida en la UNE 23-010/76 y se colocarán en la zona adecuada según los criterios de probabilidad de fuego, correctamente señalizados como indica la UNE 23-033/81, dispuestos a menos de 1,70 metros del suelo y protegidos con un pilar vertical que lo proteja de daños físicos y químicos.
- Los extintores deben garantizar su conservación y uso mediante lo estipulado en el RD 1942/1993 y las instalaciones deben estar en buen estado para la detección y control del incendio, asegurando así la idoneidad del edificio ante cualquier aviso de fuego.

MEDICIÓN Y PRESUPUESTO

En este apartado se presentan las condiciones económicas del proyecto, mediante una medición del coste de inversión necesario para la posterior explotación del negocio. Para ello, se muestran los costes necesarios para la producción anual de 1000 L de cerveza artesanal, con una presentación final de las entradas y salidas de dinero que experimenta la empresa durante su funcionamiento y su beneficio neto anual.

Inversión

Se adquiere una nave industrial de 336 m² situada enfrente del polígono Itálica y junto al arroyo de San Nicolás, como se menciona anteriormente.

El edificio ya está construido y acondicionado para el montaje de la planta, cubriendo las necesidades de instalación eléctrica, incendios y fontanería.

El precio del suelo por m² es de 380 €, por lo que el precio por el que se adquiere la nave sin tener en cuenta el acuerdo contractual es de 127.680 €.

Teniendo en cuenta que el contrato debe cubrir además los gastos generales derivados de costes financieros o cargas fiscales entre otros y un beneficio industrial para la contrata antes de aplicar el impuesto de valor añadido, se obtiene un precio total por la ejecución del contrato:

Tabla 31. Presupuesto de la planta

Presupuesto de ejecución material	127.680 €
Gastos generales (13 %)	16.598,4 €
Beneficio industrial (6 %)	7.660,8 €
Total	151.939,2 €
IVA (21 %)	31.907,23 €
Presupuesto de contrata	183.846,43 €

Dentro del coste que implica la inversión inicial del proyecto se encuentra la adquisición de la maquinaria y mobiliario necesarios para la implantación y producción de la fábrica.

A continuación se muestra una lista de los equipos fundamentales para la fabricación de cerveza, así como los medios auxiliares y necesarios para el correcto funcionamiento de la planta [22] [23]:

Tabla 32. Coste de maquinaria y mobiliario

Descripción	Precio	Unidades	Total
Balanza inox digital 100 kg/50 g	167,71 €	3	503,13 €
Silo de malta 2000x4450 mm, acero inoxidable AISI 304/316	8.999,00 €	1	8.999,00 €

Descripción	Precio	Unidades	Total
Molino automático de malta 75 kg/h, 600x350x400 mm	1.105,84 €	1	1.105,84 €
Equipo de maceración mosto (olla maceración whirlpool 2000 L acero inox AISI 304 con filtro Lauter isoterma, cuadro de control y conexiones tubería DN 40)	14.350,49 €	1	14.350,49 €
Tanque de agua caliente 1200 L acero inox AISI 316 termoaislado con circuito controlado, H 1150 mm	7.260,00 €	1	7.260,00 €
Equipo de cocción continua 250 PLUS acero inox AISI 304, 1000 L/día 2280x1000x2015 mm con sistema de encamisado de vapor	32.045,00 €	1	32.045,00 €
Generador de vapor de gas automático con presión regulable 1-10 bar, y unidad de potencia SPECK	38.469,00 €	1	38.469,00 €
Tanque vertical Whirlpool AISI 304 675 L con conexionado y control automático, DN 1185 mm, H 1220 mm	8.965,00 €	1	8.965,00 €
WCASB-1000 refrigerador y aireador compacto con control digital sensorizado LED de Tª 400x280x1200 mm	4.534,00 €	1	4.534,00 €
Tanque de agua fría 1200 L acero inox AISI 316 termoaislado con circuito controlado, H 1250 mm	5.260,00 €	1	5.260,00 €
Frasco propagador levadura Carlsberg K8301 acero inox AISI 304 30 L 323x323x535 mm	1.299,00 €	1	1.299,00 €
Fermentador monotanque 250 L, camisa de refrigeración y sistema CIP, limpieza lateral DN 25 y acero inox AISI 304	3.363,80 €	4	13.455,20 €
Clarificador cerveza 250 L AISI 304 acero inox automático continuo con sistema integrado CIP	1.285,00 €	4	5.140,00 €
Tanque de presión cilíndrico vertical y aislado BBTVI-1000C para almacenamiento y acondicionamiento final (carbonatado) 300/334 L	7.521,00 €	4	30.084,00 €
Equipos auxiliares, accesorios y mobiliario de oficina/laboratorio	30.585,00 €	1	30.585,00 €

Descripción	Precio	Unidades	Total
Baril de acero inox AISI 304 50 L, D=365 mm, H=600 mm con presión máxima 3 bar	49,00 €	3650	178.850,00 €
Suma			380.904,66 €

La planta de cerveza requiere una serie de estudios, informes y permisos que garanticen el correcto funcionamiento de la fábrica y permitan abrir y explotar el negocio, como se observa en la *Tabla 33*:

Tabla 33. Informes y licencias para explotación de la fábrica

Informe/licencia	Precio
Estudio y declaración de impacto ambiental	6.344,00 €
Autorización ambiental integrada	5.320,00 €
Informe de evaluación de edificio	928,00 €
Legalización de instalación contra incendios	1.775,00 €
Legalización de instalación eléctrica	1.835,00 €
Legalización instalación de climatización	1.870,00 €
Licencia de segunda ocupación	298,00 €
Licencia de actividad	2.252,00 €
Licencia de apertura	1.696,00 €
Total	22.318,00 €

Operación

- Coste de Materia Prima**

A continuación se muestra una tabla con los ingredientes necesarios para la fabricación de la cerveza, así como la cantidad anual requerida y el precio de la materia prima:

Tabla 34. Materia Prima por producción anual de cerveza

Ingrediente	Cantidad anual (kg)	Precio unidad (€/kg)	Precio anual (€)
Malta Pilsner	75.810,50	1,27	96.279,34
Malta Caramelo 30	9.490,00	1,95	18.505,50
Lúpulo Perle	347,63	23,00	7.995,49

Ingrediente	Cantidad anual (kg)	Precio unidad (€/kg)	Precio anual (€)
Lúpulo Tettnanger	695,22	40,20	27.947,84
Levadura Saflager S-23	386,90	131,25	50.780,63
Total			201.508,80 €

- **Coste de mano de obra**

El coste que supone un trabajador en la planta se calcula teniendo en cuenta el salario bruto que percibe, dependiente de la categoría en la que se sitúe el empleado en el convenio laboral colectivo y los seguros sociales [24]. Los seguros sociales están compuestos por los siguientes pagos:

Tabla 35. Tipos de seguros sociales

Pago	Porcentaje salario bruto (%)
Contingencias comunes	23,60 %
Tipo general de desempleo por contrato indefinido	5,5 %
Fondo de garantía salarial	0,20 %
Formación profesional	0,60 %

La fábrica contará con los siguientes empleados:

- **Jefe de producción:** Será la persona de mayor responsabilidad en la planta. Su función principal es la de organizar y optimizar la línea de producción, así como supervisar el correcto funcionamiento de los equipos y de la mejora continua de las unidades de producción y mantenimiento.
- **Director comercial:** Se encargará del plan comercial, control de objetivos (clientes, proveedores, ventas e ingresos y servicio técnico) y de las negociaciones y estudios del potencial cliente. Tendrá como apoyo al administrativo contable.
- **Administrativo contable:** Realizará las funciones contables y administrativas tales como contabilización de facturas, cobros y pagos, así como conciliaciones con el cliente, proveedor y bancos.
- **Operarios:** La planta dispondrá de nueve operarios para la línea de producción. Se organizarán en turnos de mañana, tarde y noche y llevarán a cabo las tareas de control y preparación de los equipos de producción, control de la trazabilidad del proceso y tareas de limpieza según la normativa de higiene alimentaria.
- **Técnicos de laboratorio:** La planta contará de dos técnicos de laboratorio que realicen los análisis y controles de calidad del proceso de producción.
Entre ellos están el control del agua (pH, conductividad, etc), la inspección del mosto o los estudios fermentativos como la atenuación o el contenido en bacterias y la propagación y control de la levadura cervecera entre otros.

Para calcular el coste de cada empleado de la fábrica debe tenerse en cuenta, como se ha dicho anteriormente, el salario bruto de cada uno de ellos según el cuadro de convenio colectivo de cotización, donde se tomará para cada empleado una base de cotización determinada para un 23,6 % de contingencias comunes [24]:

Tabla 36. Convenio laboral colectivo

Empleado	Grupo de cotización	Categoría profesional	Media mensual de cotización
Jefe de producción	Ingenieros y licenciados	1	2.768,25 €
Director comercial	Jefes y administrativos	3	2.563,95 €
Administrativo contable	Oficiales administrativos	5	1.920,04 €
Operario	Oficiales de 1ª y 2ª	8	1.280,03 €
Técnico de laboratorio	Jefes de taller	3	1.922,96 €

Por tanto, los empleados suponen un coste total de personal, como se observa en la *Tabla 37*, de valor:

Tabla 37. Coste de mano de obra

Empleado	Coste unitario anual	Cantidad	Coste total anual
Jefe de producción	43.151,52 €	1	43.151,52 €
Director comercial	39.966,84 €	1	39.966,84 €
Administrativo contable	29.929,56 €	1	29.929,56 €
Operario	19.953,12 €	9	179.578,08 €
Técnico de laboratorio	29.975,16 €	2	59.950,32 €
Coste anual de mano de obra			352.576,32 €

- **Coste energético y agua**

Para calcular el coste eléctrico aproximado de la planta se tiene en cuenta la potencia diaria consumida por los principales equipos de la línea para lote de producción de 1000 L [22] [23]:

Tabla 38. Consumo de electricidad diaria de la planta

Equipo	Potencia diaria (kWh)
Molino automático de malta	1,95
Equipo de elaboración mosto	12,70
Generador de vapor automático, presión 1-10 bar y unidad de potencia SPECK	38,50
Refrigerador y aireador compacto con control digital sensorizado LED de Tª	16,20

Equipo	Potencia diaria (kWh)
Fermentador monotanque atmosférico acero inox AISI 304	6,75
Potencia consumida	76,10

De cada lote diario se consumen 76,10 kWh, por lo que si se estima en 100 kWh el consumo de iluminación y enchufado junto con el del resto de equipos y mobiliario auxiliar, se obtiene un consumo diario de 176,10 kWh. A día de hoy el kWh tiene un precio de 0,08984 €, por lo que el coste anual de electricidad es **5.774,60 €**.

Si la potencia contratada en la planta es de 28 kW y que la tarifa de acceso es la 3.0 A [25] (mayores de 15 kW) con un precio 0,044512 €/kWdía, se obtiene un valor de potencia contratada anual de **454,91 €**.

En cuanto al coste total por consumo de agua, se recoge la información proporcionada por la empresa *Modelo*, la cual emplea 324 litros de agua por cada litro de cerveza producida. Por tanto, sabiendo que el precio del agua es de 2,25 €/m³ contando suministro y saneamiento, se obtiene un coste total anual de:

$$C_{agua} = \frac{1000 \text{ L cerveza}}{\text{día}} \times \frac{324 \text{ L agua}}{100 \text{ L cerveza}} \times \frac{2,25 \text{ €}}{1000 \text{ L agua}}$$

$$C_{agua} = 7,29 \frac{\text{€}}{\text{día}}$$

Por tanto, el coste que en consumo de agua para la producción anual de cerveza es de **2.660,85 €**.

Ingresos

Si se producen 1000 L diarios de cerveza y se estima en un 10 % del año para paradas por reparación y mantenimiento, se obtiene un volumen de producción anual de 328.500 L, para lo que cuenta con depósitos verticales antes de ser suministrada al cliente mediante barriles de 50 L, quien será encargado del envasado, etiquetado y comercialización del producto final.

Fijando un precio de venta de 125,57 € el barril, un precio de mercado competente para una cerveza de gran gusto y aroma complejo y elaborada de forma natural y artesanal, se obtienen unas ventas de 825.000 € anuales. A continuación se muestra una tabla resumen con las cifras de ingresos:

Tabla 39. Ingresos anuales de la planta de cerveza

Prod. diaria (L)	Prod. anual (L)	Prod. anual (barril)	Precio unidad (€)	Venta anual
1000	328.500	6.570	125,57	825.000 €

Para hacer un análisis de la evolución económica del proyecto se presenta a continuación la *Tabla 40* con los flujos de caja anuales de la empresa, representando los gastos e ingresos de la fábrica cada año. Para ello se tiene en cuenta que la inversión inicial se realiza para una vida útil del proyecto de 10 años, con una amortización lineal de equipos y mobiliario y que la financiación total del proyecto será por una ayuda del banco mediante un crédito al 6 % de interés anual, teniendo en cuenta que la anualidad es de 79.763,88 € y el costo de la financiación es sobre el capital vivo, es decir, lo que la fábrica tiene pendiente por pagar del total de la inversión.

Tabla 40. Entradas y salidas económicas anuales

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ventas (Ud)	0	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570
Precio Ud (€)	125,57	125,57	125,57	125,57	125,57	125,57	125,57	125,57	125,57	125,57	125,57
Ingresos (€)		825.000	825.000	825.000	825.000	825.000	825.000	825.000	825.000	825.000	825.000
Contrata (€)	183.846,43										
Maquinaria (€)	380.904,66										
Informes (€)	22.318,00										
Coste inversión inicial (€)	587.069,09										
MP (€)		201.509	201.509	201.509	201.509	201.509	201.509	201.509	201.509	201.509	201.509
Mano de obra (€)		352.576	352.576	352.576	352.576	352.576	352.576	352.576	352.576	352.576	352.576
Consumo energético (€)		6.229,5	6.229,5	6.229,5	6.229,5	6.229,5	6.229,5	6.229,5	6.229,5	6.229,5	6.229,5
Consumo de agua (€)		2.660,9	2.660,9	2.660,9	2.660,9	2.660,9	2.660,9	2.660,9	2.660,9	2.660,9	2.660,9
Coste operación (€)		562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975
Costes (€)	587.069,09	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975	562.975
ETIBDA (€)	-587.069,09	262.025	262.025	262.025	262.025	262.025	262.025	262.025	262.025	262.025	262.025
Amortizado (€)		38.090	38.090	38.090	38.090	38.090	38.090	38.090	38.090	38.090	38.090
BAII (€)	-587.069,09	223.934	223.934	223.934	223.934	223.934	223.934	223.934	223.934	223.934	223.934
Anualidad (€)	79.763,88										
Intereses (6 %)		35.224	32.552	29.719	26.716	23.534	20.160	16.583	12.793	8.774	4.515
BAI (€)	-587.069,09	188.710	191.382	194.215	197.218	200.400	203.774	207.351	211.141	215.160	219.419
Impuestos (25 %)		47.178	47.846	48.554	49.305	50.100	50.944	51.838	52.785	53.790	54.855
Resultado ejercicio (€)	-587.069,09	141.532	143.536	145.661	147.913	150.300	152.830	155.513	158.356	161.370	164.564

BIBLIOGRAFÍA

- [1] The Brewers of Europe. (2019). *European Beer Trends: Statistics Report*.
- [2] BOE. (2019). *Código de la Cerveza*.
- [3] Natural, G. d. (17 de julio de 2019). *Què es una cervesa artesana?* Obtenido de www.gecan.info
- [4] Asociación Española de Cerveceros Artesanos Independientes (29 de julio de 2019). Obtenido de AECAI: www.aecai.es
- [5] RETEMA. (2019). *Revista Técnica de Medio Ambiente*
- [6] Dennis E. Briggs, C. A. (2004). *Brewing Science and Practice*. CRC
- [7] Cooper, G. M. (2000). *The Cell*. Sinauer
- [8] Ambiente, M. d. (2005). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Cerveceros*
- [9] Huxley, S. (2017). *La cerveza. Poesía líquida. Un manual para cervesiáfilos*. TREA S.L
- [10] S.L, I. S. (27 de agosto de 2019). *infoAgro*. Obtenido de www.infoagro.com
- [11] I.Cenzano, A. (1993). *Nuevo Manual de Industrias Alimentarias*. AMV Ediciones
- [12] J.S.Hough. (1990). *Bioteología de la cerveza y la malta*. ACRIBIA S.A
- [13] Koroluk, C.A, (29 de agosto de 2019.). *Cerveza de Argentina*. Obtenido de www.cervezadeargentina.com
- [14] T.M, B. (18 de octubre de 2019). *BeerSmith Recipe Cloud*. Obtenido de <https://beersmithrecipes.com/>
- [15] Institute, A. I. (s.f.). *American Iron and Steel Insitute*. AISI
- [16] Massoni, J. M. (2008). *Normas de cosntrucción de recipientes a presión*. BELLISCO Ediciones
- [17] Acerinox S.A. (24 de octubre de 2019). *Tipos de acero inoxidable*. Obtenido de www.acerinox.com
- [18] Ruiz Rubio, C. (1976). *Proyecto y construcción de recipientes a presión*. URMO S.A
- [19] McCabe, S. H. (2004). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. McGraw-Hill
- [20] Ludwig, E. E. (2001). *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical plants*. CPP
- [21] ETSI. (2018). *Apuntes de operaciones básicas con sólidos y fluidos*
- [22] Magusa. (2018). *Equipamientos para cerveza*
- [23] Plevnik. (2016). *Brewing Equipment Catalogue*
- [24] L(2019). *Práctica de salarios y cotizaciones* . CEF
- [25] S.A, C. H. (2de junio de 2020). *chc energia*. Obtenido de www.chcenergia.es

