

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

Mención: Industrias Agrarias y Alimentarias

Creación de un proceso productivo de cerveza turbia
artesanal en Mas de las Matas (Teruel)

Creation of a production process for cloudy craft beer in
Mas de las Matas (Teruel)

Autor:

Samuel Oliveros Royo

Director/es:

María Pilar Lobera González

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2025

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo integral de una cervecería artesanal en la localidad de Mas de las Matas (Teruel), abordando todos los aspectos clave del proceso productivo, desde la selección de materias primas hasta la distribución del producto final. Se ha diseñado un proceso optimizado basado en lotes de 500 litros, justificando la elección de la maquinaria, el balance de materia y energía, y la viabilidad económica del proyecto.

El estudio incluye un análisis detallado del impacto social y económico en la región, destacando la generación de empleo, el impulso a la economía local y la valorización de los recursos agrícolas de proximidad. Asimismo, se han considerado aspectos normativos y de seguridad alimentaria, asegurando el cumplimiento de la legislación vigente en la industria cervecera.

Los resultados obtenidos demuestran que la cervecería es un proyecto viable, con una rápida recuperación de la inversión y un modelo de negocio sostenible. La combinación de un enfoque artesanal con estrategias eficientes de producción y distribución permite consolidar un producto competitivo en el mercado, fomentando el consumo responsable y la identidad territorial.

Palabras claves: cerveza artesanal, producción cervecera, balance de materia y energía, viabilidad económica, impacto social, sostenibilidad, industria alimentaria.

ABSTRACT

This work presents the comprehensive development of a craft brewery in Mas de las Matas (Teruel), addressing all key aspects of the production process, from raw material selection to final product distribution. An optimized process based on 500-liter batches has been designed, justifying the choice of equipment, material and energy balance, and the project's economic viability.

The study includes a detailed analysis of the social and economic impact in the region, highlighting job creation, local economic stimulation, and the valorization of local agricultural resources. Additionally, regulatory and food safety aspects have been considered, ensuring compliance with current legislation in the brewing industry.

The results demonstrate that the brewery is a viable project, with a fast investment recovery and a sustainable business model. The combination of an artisanal approach with efficient production and distribution strategies enables the consolidation of a competitive product in the market, promoting responsible consumption and territorial identity.

Keywords: craft beer, brewing production, material and energy balance, economic viability, social impact, sustainability, food industry.

ÍNDICE

1.	<i>Introducción</i>	1
1.1.	Justificación del proyecto y Objetivos de Desarrollo Sostenible	1
1.2.	Cerveza industrial y artesanal	2
1.3.	Materias primas de la cerveza	4
1.4.	Alternativas tecnológicas en el proceso de elaboración de cervecera	6
2.	<i>Situación del sector</i>	14
2.1.	Interés creciente, reflejado en la literatura científica	14
2.2.	El auge de la cerveza artesanal	15
2.3.	Situación en España y Aragón	18
3.	<i>Justificación de la ubicación</i>	21
3.1.	Situación geográfica del municipio	21
3.2.	Mercado cervecero	22
3.3.	Aprovechamiento del entorno productivo	23
3.4.	Sinergias con otras cervecerías artesanales	23
3.5.	Contribución al desarrollo sostenible y a la lucha contra la despoblación	24
3.6.	Nave	24
4.	<i>Proceso productivo</i>	27
4.1.	Normativa	27
4.2.	Materias primas	28
4.3.	Productos elaborados	29
4.4.	Ingeniería del proceso productivo	30
4.5.	Estimación de la demanda de producción y justificación del proceso productivo	42
5.	<i>Plan de autocontrol (APPCC)</i>	43
5.1.	Sistema APPCC	43
5.2.	Planes de Higiene	43

6.	<i>Balances de materia y energía</i>	45
6.1.	Cálculos de producción	45
6.2.	Densidad del mosto y cerveza	46
6.3.	Balances de materia	48
6.4.	Balace de energía en el proceso de producción de cerveza	58
7.	<i>Elección de los equipos</i>	68
7.1.	Malteado	68
7.2.	Cocción	72
7.3.	Filtrado	73
7.4.	Enfriado del mosto	74
7.5.	Fermentación	76
7.6.	Maduración	77
7.7.	Embotellado y fermentación en botella	77
7.8.	Taponadora	78
7.9.	Etiquetadora	79
7.10.	Materiales auxiliares	79
7.11.	Coste total de adquisición de los equipos	80
8.	<i>Distribución en planta</i>	81
8.1.	Planificación temporal de la carga de trabajo y control del proceso	81
8.2.	Planificación temporal y control del proceso	82
8.3.	Distribución en planta	83
9.	<i>Evaluación económica</i>	90
9.1.	Costes de inversión inicial	90
9.2.	Costes operativos mensuales	92
9.3.	Proyección de ventas	94
9.4.	Financiación y amortización de equipos	95
9.5.	Margen de beneficio	97
9.6.	Tiempo de recuperación de la inversión	98

9.7.	Indicadores financieros (TIR, VAN y Plazo de recuperación) _____	98
9.8.	Cuello de botella y expansión del negocio _____	100
9.9.	Análisis de escenarios _____	100
9.10.	Conclusión y opinión general _____	101
10.	<i>Impacto social</i> _____	103
10.1.	Generación de empleo _____	104
10.2.	Revitalización de la comunidad rural _____	104
10.3.	Promoción del producto local y revalorización de la agricultura __	105
10.4.	Reducción de la despoblación _____	105
10.5.	Conciencia social y educativa _____	106
10.6.	Impacto en la salud pública _____	106
11.	<i>Conclusiones</i> _____	108
11.1.	Conclusiones _____	108
11.2.	Conclusions _____	109
12.	<i>Bibliografía</i> _____	110
13.	<i>ANEXO I</i>	
14.	<i>ANEXO II</i>	

1. Introducción

1.1. Justificación del proyecto y Objetivos de Desarrollo Sostenible

En este proyecto se propone el **diseño de una cervecería artesanal en la localidad de Mas de las Matas, en la provincia de Teruel**, Aragón. Para ello, se cuenta con una nave en la cual se van a describir, calcular y definir técnicamente la línea de procesado, las instalaciones y la maquinaria que formarán parte de la agroindustria. Concretamente, se pretenden elaborar cervezas tipo lager, intentando emplear en todo momento materias primas de origen nacional y a ser posible, de km 0. La capacidad productiva de la industria es de 65 hL/anales, pudiendo variar en un futuro las cantidades en función de la demanda.

Se ha elegido desarrollar este proyecto, en primer lugar, por un interés personal de desarrollar una industria que me resulta atractiva. En segundo lugar, el desarrollo de este trabajo representa una oportunidad para contribuir al desarrollo económico y social de la comunidad, generando empleo y fomentando el crecimiento de la industria local. En tercer lugar, aunque no menos importante, este proyecto se sustenta en motivaciones personales, ya que, Mas de las Matas es mi localidad natal. Esto hace que disponga de un profundo conocimiento del entorno y sus recursos, que sustentan un compromiso con la sostenibilidad y el progreso de la región, lo que se convierten en un pilar fundamental de este proyecto.

1.1.1. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La implementación de esta industria cervecera en Mas de las Matas permite contribuir a la consecución de alguno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas:

- **ODS 8; Trabajo Decente y Crecimiento Económico:** El proyecto tiene como objetivo generar empleo de calidad en una región donde las oportunidades laborales son limitadas. La contratación de personal local para diversas áreas, desde la producción hasta la distribución, permitirá el desarrollo de habilidades y fomentará un entorno de trabajo digno y productivo.
- **ODS 9; Industria, Innovación e Infraestructura:** Esta cervecería no solo se basará en métodos tradicionales de elaboración artesanal, sino que integrará tecnologías avanzadas en el proceso de producción. La incorporación de maquinaria puntera en eficiencia energética y control de calidad asegura que la industria esté a la vanguardia de la innovación, contribuyendo al fortalecimiento de las infraestructuras industriales en el entorno rural.
- **ODS 10; Reducción de las Desigualdades:** Como se mencionó, este proyecto busca reducir las desigualdades entre el medio rural y las áreas urbanas, proporcionando oportunidades económicas y mejorando la competitividad de la región en el mercado cervecero. Al consolidar una industria en una zona poco desarrollada, se promueve una distribución más equitativa de los recursos económicos.
- **ODS 11; Ciudades y Comunidades Sostenibles:** Al integrarse dentro de la comunidad local, la fábrica apoyará la sostenibilidad de Mas de las Matas como una comunidad

rural activa y dinámica. Además, al fomentar el consumo de productos locales y sostenibles, se fortalecerá la resiliencia de la localidad frente a desafíos económicos y sociales.

- ODS 12; Producción y Consumo Responsable: La utilización de cereales de km 0 y la implementación de prácticas de producción sostenible, como el uso eficiente de recursos hídricos y energéticos, garantiza que la industria cervecera operará bajo los principios de sostenibilidad y responsabilidad medioambiental. Asimismo, se minimizarán los residuos y se promoverá el reciclaje y la reutilización dentro de los procesos productivos.

1.2. Cerveza industrial y artesanal

La cerveza, al igual que el vino, se consideran dos de las bebidas más antiguas. En la Antigüedad eran sinónimo de civilización, considerándose como bebidas de clases sociales altas, empleándose para festines, rituales y actividades ceremoniales. Los primeros vestigios de la elaboración de cerveza se encontraron en un pueblo de cazadores-recolectores, en los alrededores de la cueva Raqefet del monte Carmel en Israel, con una antigüedad de casi 13 mil años (Liu et al., 2018). Posteriormente, en la antigua Mesopotamia, situada entre los ríos Éufrates y Tigris (que cubre aproximadamente el actual Iraq), la cerveza constituyó uno de los alimentos básicos de la población. Es más, lo largo de su historia, raciones de cerveza e ingredientes para su fabricación constituyeron el sueldo de los trabajadores, por ejemplo, se utilizó la cerveza como salario en la construcción de las pirámides de Egipto.

Hoy en día la cerveza es la bebida alcohólica más consumida en el mundo y la tercera bebida más popular después del agua y el té (Salanță, et al., 2020). El consumo medio de cerveza per cápita supera los 100 litros anuales en algunas regiones de Europa (WHO, 2018), mientras que en España se sitúa alrededor de los 89 litros anuales per cápita (Kozłowski et al., 2021).

En el Artículo 3 “Definiciones relativas a los productos y a los métodos de fabricación” del *Real Decreto 678/2016*, se define a la cerveza como: “*Alimento resultante de la fermentación, mediante levaduras seleccionadas, de un mosto cervecero elaborado a partir de materias primas naturales*”.

En función de sus materias primas, la graduación alcohólica y otras características organolépticas se pueden distinguir distintos tipos de cerveza (Real Decreto 678/2016):

1. Cerveza de cereales: cuando en el mosto cervecero la presencia de malta de cebada sea inferior al 50 % respecto al total de la malta. Llevará la denominación de «Cerveza de» seguida del nombre del cereal con mayor contenido.
2. Cerveza extra: cerveza con un extracto seco primitivo superior o igual al 15 % en masa.
3. Cerveza especial: cerveza con un extracto seco primitivo superior o igual al 13 % en masa e inferior al 15 % en masa.

4. Cerveza negra: cerveza que supere las 50 unidades de color, medido conforme al método analítico de la *European Brewery Convention* (EBC).
5. Cerveza de bajo contenido en alcohol: cerveza cuya graduación alcohólica esté comprendida entre el 1 y el 3 % en volumen.
6. Cerveza sin alcohol: cerveza cuya graduación alcohólica sea menor al 1 % en volumen.

El tipo de fermentación utilizado para la elaboración de la cerveza es probablemente la característica más determinante para diferenciar los distintos tipos de cerveza. Según los métodos de fermentación, se distinguen los siguientes tipos de cerveza:

1. Baja fermentación (*Lager*): se elaboran a temperaturas bajas (0 - 4 °C). Se emplea la levadura *Saccharomyces pastorianus*, que lleva a cabo la fermentación sedimentada en el fondo de la cuba. Cuando acaba la primera fermentación, el producto obtenido se almacena en tanques de maduración (entorno a los 0 °C), donde se dejan reposar durante varias semanas o incluso meses. La *cerveza lager* se caracteriza por su olor a malta y por tener pocos olores afrutados, aunque han ido evolucionando y podemos encontrar cervezas de estilo *lager* con notas distintas. Dentro de las cervezas *lager* destaca el estilo Pilsen creado en Plzen, República Checa, en 1842. Fue la primera cerveza *lager* dorada y transparente de la historia y consiguió conquistar al público. Actualmente es el estilo más producido en la industria cervecera mundial.
2. Alta fermentación (*Indian Pale Ale, IPA*): se elaboran a temperaturas más altas que la *lager* (15 - 24 °C) con levaduras principalmente cepas de *Saccharomyces cerevisiae*. Estas cervezas presentan aromas afrutados, aportados por los ésteres y productos secundarios. Hay muchos más estilos de cervezas *IPA* que *lager*. Se dividen en diversas categorías, que podemos encontrar en la *Guía Beer Judge Certification Program* (Strong y England, 2015).
3. Espontánea: la fermentación se produce sin inoculación de levadura, de forma natural. El proceso es llevado a cabo por levaduras que se encuentran en el ambiente o en las cubas de fermentación, las cuales están abiertas. Estas cervezas contienen malta de trigo mezclada con malta de cebada, y en ciertas variedades se añaden frutas como cereza o frambuesa. Reciben el nombre de cervezas *lambics*.

Con el progreso en la producción cervecera y con unos consumidores cada vez más exigentes, surge la demanda de nuevas tecnologías y enfoques más novedosos en el sector. Por lo general, las cervezas artesanales tienen un sabor distintivo, lo que hace abrirse un hueco entre los consumidores más innovadores o exigentes del sector cervecero (Humia et al., 2019).

En el *Real Decreto 678/2016* se define la fabricación artesanal de cerveza como la: “*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.”, pero la Asociación Española de Cerveceros Artesanos Independientes (AECAI) amplía la definición que tiene la propia legislación.

Si bien se puede elaborar cerveza artesanal y comercializarla, para pertenecer a la AECAI y dotar así de más visibilidad al producto, se debe cumplir lo que ellos promulgan. Es decir, según la AECAI la cerveza artesanal debe ser una bebida sin pasteurizar elaborada exclusivamente con ingredientes naturales que incluyan malta de cebada y/o trigo, agua, levadura y lúpulo. Sin embargo, se permite el uso de otros ingredientes como frutas, flores o especias en casos donde sea necesario por razones organolépticas. No se permite el uso de aditivos como aromas artificiales o extractos de lúpulo, ni se permite el uso de conservantes. Además, el volumen de producción de la fábrica no debe exceder los 5 millones de litros anuales, y los lotes de producción no pueden superar los 7500 litros por caldera de cocción. Se prohíbe el uso de calderas de gelatinización para la inclusión de ingredientes como maíz o arroz con el fin de añadir azúcares extra. Este método, comúnmente utilizado en la producción de cervezas industriales, tiene como objetivo acelerar y abaratar el proceso de fermentación, resultando en un producto de menor calidad.

1.3. Materias primas de la cerveza

Aunque las materias primas básicas para la elaboración de la cerveza son malta, lúpulo, agua y levadura, actualmente la aparición de nuevos estilos cerveceros ha añadido nuevas materias primas (frutas, cereales...) para crear distintos tipos de cervezas y mejorar su competitividad en el mercado.

1.3.1. Malta

La malta aporta las principales características fundamentales que delinear el perfil de la cerveza, entre las que están incluidas el color, sabor, cuerpo y la cantidad de azúcares que servirán de sustrato para la fermentación. Aunque son muchos los granos de cereales que pueden ser sometidos al proceso de malteado, como la cebada, trigo, centeno, maíz y arroz, generalmente se prefieren aquellos que presentan menos complicaciones técnicas, y es la cebada la que se suele preferir, seguida del trigo.

Para el proceso de obtención de la malta, es necesario el cultivo de variedades específicas de cebada seleccionadas a lo largo del tiempo para este propósito. Los granos atraviesan etapas de remojo, germinación, secado y tostado. La composición típica de la malta en base másica (%p/p) incluye hidratos de carbono (70%), proteínas (10%), fibra (10%), lípidos (3%), minerales, vitaminas y oligoelementos (Bamforth, 2003). Se pueden obtener diferentes tipos de malta según el tiempo, la temperatura de tostado, la combinación de distintos tipos de malta en porcentajes variables. Es por esto por lo que la malta puede

conferir a la cerveza una amplia gama de aromas: a pan, miel, canela, chocolate, ahumado... y por lo que se considera la malta el ingrediente que principalmente aporta la diferencia entre unos tipos de cerveza (Parr et al., 2021).

Además, la malta aporta compuestos proteicos que contribuyen a la estabilidad de la espuma (Niu et al., 2018). En ocasiones junto a la malta se emplean otras fuentes de carbohidratos a la que se les llama "adjuntos cerveceros". Estas fuentes pueden ser maíz, arroz, avena, almidón de patata, remolacha azucarera... y son añadidas principalmente para hacer un entorno más favorable para las levaduras (Bogdan y Kordialik-Bogacka, 2017).

1.3.2. Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es reconocido por proporcionar una de las características más apreciadas de la cerveza: el amargor. Es principalmente debido a los α -ácidos como la humulona, cohumulona y adhumulona (Kishimoto et al., 2021). Este amargor contrarresta el dulzor de la malta. Además de los α -ácidos, el lúpulo contiene resinas (10-25%), proteínas (12-22%) y aceites esenciales (0,4-2,0%), que proporcionan a la cerveza aromas cítrico-florales como el geraniol y el linalool, o herbáceo-frutales como el limoneno, mirceno o β -pireno (Astray et al., 2020).

El lúpulo tiene también un papel fundamental en la filtración del mosto y la formación de la espuma, ya que contribuye a la estabilidad coloidal. También es importante para mantener la estabilidad microbiológica de la cerveza, ya que produce diversas sustancias antimicrobianas durante la cocción (Kishimoto et al., 2021). Se emplea de diversas formas, como flores desecadas, polvo de flor, pellets o en forma de extracto líquido, que puede añadirse durante o después de la cocción.

1.3.3. Agua

El agua es un componente esencial en el proceso cervecero, siendo el componente mayoritario de la cerveza (85-92% peso). La composición química del agua influye en las propiedades sensoriales de la cerveza ya que contiene iones disueltos como Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} o K^{+1} , que tienen un efecto indirecto sobre las reacciones enzimáticas y coloidales (Belitz et al., 2009). El calcio es esencial para diversas actividades enzimáticas ya que afecta al pH y precipita oxalato y carbonato cálcico. El magnesio es necesario para las levaduras y el bicarbonato actúa como agente tampón para la regulación del pH. (Eumann, 2006)

1.3.4. Levadura

Las levaduras desempeñan un papel fundamental en el proceso de elaboración de la cerveza, ya que metabolizan los azúcares del mosto para producir etanol, CO_2 y muchos de los compuestos que definen las características organolépticas del producto final. Las levaduras más utilizadas en la producción de cerveza pertenecen al género *Saccharomyces*, con *S. pastorianus* y *S. cerevisiae* destacando entre ellas.

La capacidad de la levadura para producir compuestos aromáticos (alcoholes superiores, ésteres, aldehídos y glicerol) varía dependiendo de sus características genéticas y metabólicas. Estos compuestos son principalmente derivados de los ingredientes de la malta y pueden transformar los compuestos aromáticos del lúpulo en otros con distintos perfiles de aroma. Ciertas cepas de levadura con actividad β -glucosidasa tienen la capacidad de transformar compuestos inodoros del lúpulo en compuestos aromáticos (Burini et al., 2021).

1.4. Alternativas tecnológicas en el proceso de elaboración de cerveza

El proceso de elaboración de la cerveza se ha desarrollado a lo largo de miles de años, con el objetivo de garantizar la máxima calidad y seguridad de los productos, cada una de estas etapas ha evolucionado en su ejecución. De acuerdo con la Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero (2005), el proceso productivo de la cerveza consta de las siguientes etapas principales en función de si se trata de una cerveza industrial o una tradicional (Figura 1).

La principal diferencia entre los procesos productivos de ambos tipos de cerveza radica en los siguientes aspectos:

- La producción industrial de cerveza se caracteriza por el uso de equipos automatizados que permiten fabricar grandes volúmenes con alta eficiencia y estándares de calidad homogéneos. En contraste, la producción artesanal se realiza en lotes pequeños con métodos más manuales, lo que permite mayor personalización y experimentación con ingredientes y procesos.
- Uno de los aspectos más diferenciadores entre ambas es el control de la fermentación. Mientras que en cervecería industria se emplean tanques presurizados con control preciso de temperatura y presión, en la cervecería artesanal se usan fermentadores abiertos o con mínima regulación, lo que puede generar variaciones en cada lote. Esto hace que la cerveza artesanal tenga más matices en sabor y aroma, pero con menos reproducibilidad de las características organolépticas del producto final.
- La filtración y estabilización también difieren significativamente. En la producción industrial se utilizan sistemas avanzados de filtrado y pasteurización para eliminar impurezas y prolongar la vida útil del producto. Por otro lado, muchas cervecerías artesanales prescinden de estos procesos, lo que da lugar a cervezas con más cuerpo y mayor complejidad sensorial, aunque con menor tiempo de conservación.
- En cuanto a la carbonatación, la industria añade CO_2 de manera controlada para lograr una gasificación precisa y estable, mientras que en la cerveza artesanal la carbonatación es natural, resultado de la fermentación en botella. Este método aporta una textura diferente, pero implica un mayor tiempo de producción y posibles inconsistencias en el nivel de gas.
- Por último, la distribución varía considerablemente. Las cerveceras industriales cuentan con redes de distribución nacionales e internacionales con envíos

masivos, mientras que la cerveza artesanal suele venderse en mercados locales o directamente al consumidor final, limitando su alcance, pero fortaleciendo el vínculo con la comunidad y promoviendo un modelo de consumo más sostenible.

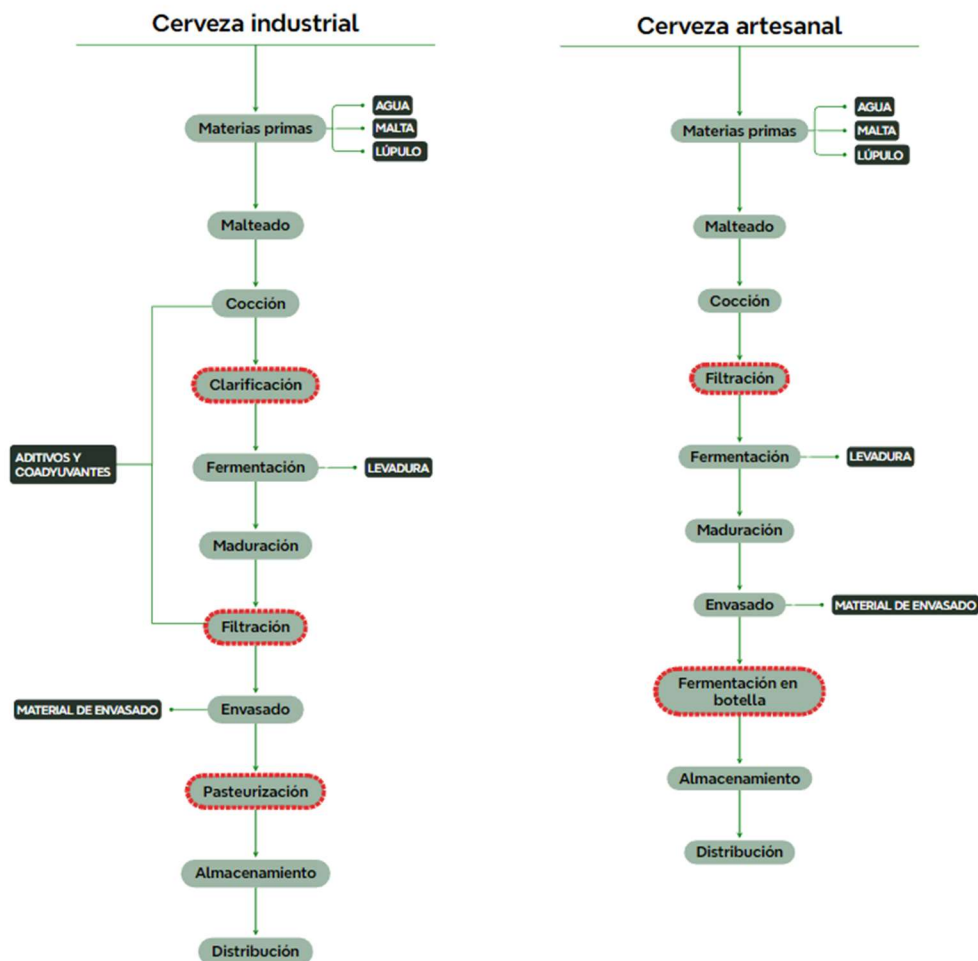


Figura 1. Diagrama de flujo de producción de una cerveza industrial y una cerveza artesanal según el MTD del sector cervecero. En rojo, las etapas características de cada proceso (Ministerio de Medio Ambiente, MTD del sector cervecero, 2005).

El objeto de este Trabajo Fin de Grado es el **diseño de un proceso productivo de cerveza turbia artesanal en Mas de las Matas**. Por ellos en las siguientes páginas se describen en detalle las operaciones unitarias que componen la *producción de cerveza artesanal*.

1.4.1. Recepción de materias primas.

La recepción de materias primas es una etapa fundamental en la producción de cerveza, ya que garantiza que los ingredientes cumplan con los estándares de calidad necesarios. En esta fase se reciben y verifican los insumos esenciales: cebada maltera, lúpulo, levadura, azúcar y materiales de envasado.

1.4.2. Malteado

El proceso de malteado de cereales en la industria cervecera implica varios pasos clave (Figura 2). En primer lugar, los granos se acondicionan para obtener un contenido de humedad específico, dependiendo de la maltería oscila entre el 15 y el 20%, sumergiéndolos o rociándolos en una solución acuosa que contenga enzimas con actividad hidrolasa. En los métodos más tradicionales o artesanales, los granos se humedecen y son las enzimas endógenas del cereal las que aportan el efecto hidrolítico (Cajetan, 2021). Posteriormente, los granos acondicionados germinan durante varios días en condiciones de humedad y temperatura controladas para producir malta verde. En esta etapa es cuando el almidón de los cereales se descompone gracias a la actividad hidrolítica de las enzimas. Esta descomposición de los azúcares tiene sentido biológico en las plantas, ya que se lleva a cabo para que la planta pueda crecer gracias a los azúcares liberados. Son estos azúcares liberados los que posteriormente emplearán como sustrato las levaduras durante la fermentación (Dekkers, 2020). Posteriormente la malta verde se seca en secaderos hasta obtener la malta seca final. Cuando la malta está seca, ya puede ser utilizada en el proceso cervecero, pero lo más habitual es que se someta a un tostado que confiese sabor, cuerpo y aroma al producto final. Dependiendo del grado de tostado la cerveza final tendrá unas características u otras (Eaton, 2017).

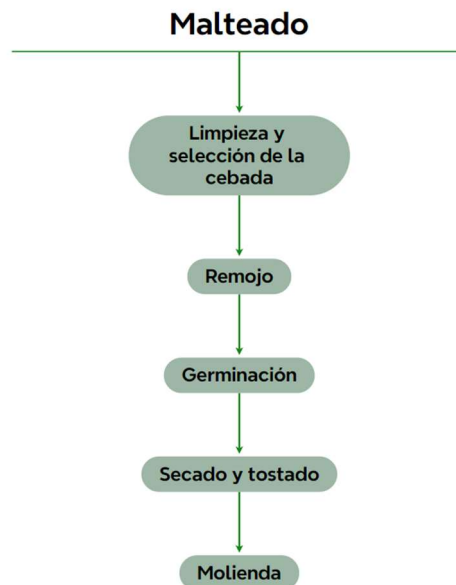


Figura 2. Diagrama de flujo de las fases del malteado.

1.4.3. Fabricación del mosto cervecero

En esta fase encontramos una serie de etapas, entre las que se incluyen molienda, maceración, filtración, cocción y enfriamiento del mosto.

- *Molienda*

La molienda se hace para separar la cáscara del grano, manteniéndolo lo más intacto posible ya que ayuda posteriormente en la etapa de filtración. Se debe evitar romper demasiado el endospermo, ya que, pese a que al romperlo la maceración es de mayor calidad, si se pulveriza puede conllevar a la formación de polvo fino que obstruye la filtración.

Para ello se emplean molinos de rodillos que permiten separar la cáscara del grano sin pulverizar el endospermo, preservando su estructura para evitar la obturación de los filtros y facilitar así la filtración.

- *Maceración*

Durante el proceso de maceración en la elaboración de la cerveza, las enzimas hidrolíticas presentes en la malta juegan un papel fundamental. Estas enzimas catalizan la formación de una amplia variedad de componentes, que incluyen proteínas solubles, péptidos, aminoácidos, carbohidratos como dextrinas y azúcares fermentables, así como vitaminas, ácidos grasos, esteroides y minerales inorgánicos como ácido fosfórico, fósforo, azufre y magnesio (Afonin et al., 2020). La actividad enzimática durante la maceración está altamente influenciada por factores como el tiempo de duración del proceso, la temperatura y el pH a los que se lleva a cabo el macerado. Estas variables afectan directamente las características del mosto resultante, incluyendo su contenido de extracto fermentable, viscosidad, color y contenido proteico (Willaert, 2007).

En esta etapa se utilizan cubas de maceración, donde se mezcla el grano molido con agua para descomponer los almidones y transformarlos en azúcares fermentables.

- *Filtración del mosto*

Una vez completada la etapa de maceración, el mosto resultante se somete a un proceso de filtración. Este paso tiene como objetivo principal eliminar los residuos de cáscara y granos presentes en el mosto. La filtración se realiza típicamente utilizando filtros de lecho o de prensa, lo que resulta en un mosto libre de partículas en suspensión y listo para pasar a la siguiente fase del proceso cervecero, la cocción.

El mosto se separa de los restos sólidos mediante filtros de prensa o filtros de lecho, eliminando residuos y permitiendo la obtención de un líquido claro.

- *Cocción*

La etapa de cocción se lleva a cabo mediante la aplicación de calor para mantenerlo a temperatura de ebullición (entre 95°C y 100°C) del mosto hasta durante un período de tiempo que generalmente oscila entre 1,5 y 2 horas.

Esta fase cumple varios propósitos fundamentales para fabricación el mosto. En primer lugar, la cocción tiene como objetivo principal estabilizar el mosto. Durante este proceso, se inactivan las enzimas presentes en el mosto, lo que ayuda a evitar reacciones enzimáticas no deseadas una vez que se haya añadido la levadura. Además, la cocción contribuye a disminuir la carga microbiana que pueda estar presente en las materias primas utilizadas, lo que ayuda a garantizar la seguridad y estabilidad microbiológica del producto final. También sirve para mejorar las propiedades organolépticas del mosto,

eliminando sustancias volátiles no deseadas y coagulando las proteínas presentes en el mosto. Este proceso de coagulación ayuda a mejorar la claridad del mosto y a eliminar cualquier material en suspensión que pueda afectar la calidad del producto final (Roth y Wolfgang, 2006).

Además, durante la cocción se produce la extracción de componentes solubles del lúpulo. En esta etapa, se agrega el lúpulo al mosto, lo que permite que los α -ácidos presentes en el lúpulo se isomericen. Como resultado de este proceso, estos α -ácidos isomerizados se transforman en compuestos solubles conocidos como iso- α -ácidos, los cuales aportan el característico amargor a la cerveza. Además, la cocción también provoca la isomerización de los β -ácidos; sin embargo, su contribución al amargor es mínima debido a su baja solubilidad (Silva y Faria, 2008).

Para esta etapa, en el proceso artesanal, se utilizan calderas o tinas de cocción, donde se hierve el mosto y se agregan lúpulos para obtener los compuestos que le aportan amargor y aroma a la cerveza.

- *Clarificación del mosto*

Una vez finalizada la cocción, se lleva a cabo un proceso de clarificación. Este paso ayuda a separar el turbio, conocido como “*trub*”, del mosto cervecero, dejando un líquido claro y listo para pasar a la siguiente etapa del proceso de elaboración de la cerveza. Tras la clarificación, el mosto cervecero tiene un contenido en carbohidratos característico que se recoge en la Tabla 1.

La separación de los sólidos en suspensión, en el proceso artesanal, se realiza con una serie de filtros de membrana o de tierra de diatomea dejando el mosto limpio para la fermentación.

Tabla 1. Composición de los azúcares del mosto cervecero (Stewart, 2006).

Carbohidrato	Fórmula	Concentración (% p/p)
Glucosa	$C_6H_{12}O_6$	10-15
Fructosa	$C_6H_{12}O_6$	1-2
Sacarosa	$C_{12}H_{22}O_{11}$	1-2
Maltosa	$C_{12}H_{22}O_{11}$	50-60
Maltotriosa	$C_{18}H_{32}O_{16}$	15-20
Carbohidratos de cadena larga	$H_2O + (C_6H_{10}O_5)_n$	20-30

- *Enfriamiento*

Posteriormente el mosto se somete a un proceso de enfriamiento hasta alcanzar a una temperatura adecuada para la inoculación para la levadura (8 - 20 °C). Al mosto frío se le inyecta aire estéril u oxígeno, necesario para el crecimiento de la levadura (6 - 8 ppm de O_2

disuelto) a través de un aireador que genere burbujas muy finas, o en procesos más básicos, mediante decantación brusca (O'Rourke, 2002).

El mosto caliente se enfría utilizando intercambiadores de calor de placas o de tubos, llevándolo a la temperatura óptima para la fermentación.

1.4.4. Fermentación y guarda

La fermentación, junto con la selección de la materia prima, constituye un proceso de notable influencia sobre las propiedades organolépticas del producto final (Ministerio de Medio Ambiente, MTD sector cervecero, 2005).

Cuando la levadura se añade al mosto, ésta se encuentra en una fase de su curva de crecimiento conocida como fase de latencia o *lag*, en la que la levadura se acomoda al medio de cultivo produciendo enzimas que consumen oxígeno y sintetizan lípidos y esteroides (Doran, 1995). Una vez finalizada la fase de latencia, comienza la fase de crecimiento exponencial de la levadura, durante la que se activa la división celular y se alcanza la máxima capacidad fermentativa. Es en esta fase cuando se generan los metabolitos primarios, como el etanol y el dióxido de carbono, mediante la metabolización de los azúcares fermentables. Asimismo, se reduce la densidad del mosto y el pH (baja de 5,3 a 4,3) debido al catabolismo de los aminoácidos con la consiguiente pérdida de nitrógeno, y la formación de ácidos orgánicos tales como el ácido láctico, propiónico y pirúvico. Finalmente, la levadura entra en fase estacionaria, con una fermentación más lenta y la ausencia de crecimiento celular, pero con almacenamiento de glucógeno. En esta etapa, la levadura elimina compuestos no deseados como el diacetilo, el cual puede conferir a la cerveza un aroma similar al de la mantequilla, por lo que es interesante llevar un riguroso control de esta etapa (ver Figura 3).

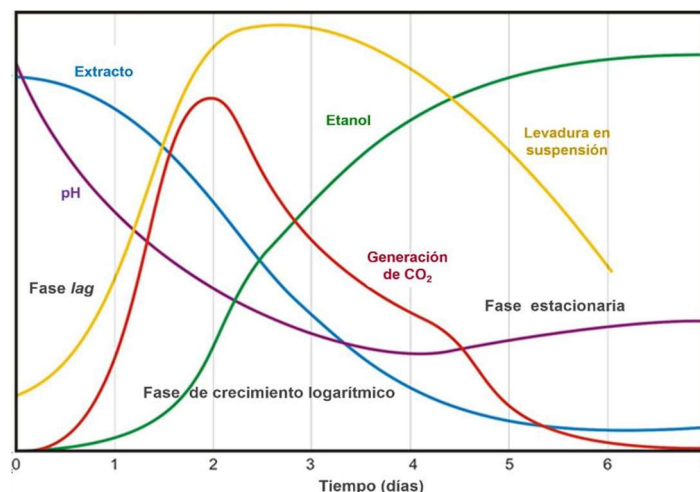


Figura 3. Evolución de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante la fermentación por *Saccharomyces sp.* (Stewart et al., 2017).

En la gráfica se pueden identificar tres fases principales del proceso de fermentación de la cerveza:

- *Fase lag (adaptación)*: Ocurre aproximadamente entre el día 0 y el día 1. Aquí, la levadura se adapta al medio, y no hay una producción significativa de etanol ni de CO₂.
- *Fase de crecimiento logarítmico*: Se da entre el día 1 y el día 3. En esta etapa, la levadura se multiplica activamente, consume los azúcares (extracto), genera CO₂ y produce etanol.
- *Fase estacionaria*: Inicia alrededor del día 4, cuando la producción de CO₂ comienza a disminuir y el etanol alcanza su máximo. La levadura empieza a decantar y su concentración en suspensión disminuye.

Por lo tanto, la transición entre la fase de crecimiento logarítmico y la fase estacionaria ocurre entre el día 3 y 4, cuando la producción de CO₂ alcanza su pico y comienza a descender, indicando que la fermentación principal está finalizando.

Sobre la evolución de los azúcares presentes en el mosto durante el proceso de fermentación, en primer lugar, se asimilan los azúcares simples y cuando estos se agotan, comienza el catabolismo del resto de azúcares presentes, que son la maltosa y la maltotriosa (He et al., 2014). Esta evolución se plasma en la Figura 4.

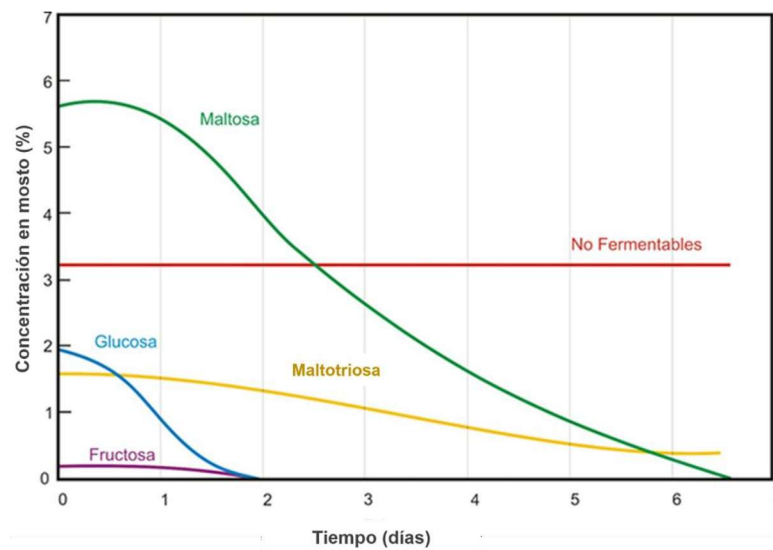


Figura 4. Consumo de los azúcares del mosto durante la fermentación (Stewart et al., 2017).

La fermentación se lleva a cabo en tanques de fermentación, donde se inocula la levadura y el mosto fermenta, produciendo alcohol y dióxido de carbono. Estos tanques están equipados con sistemas de control de temperatura para mantener las condiciones óptimas de fermentación

Tras la fermentación se lleva a cabo el proceso denominado como guarda, en el que la levadura se recupera para reutilizarla, siempre que viabilidad y vitalidad lo permitan. La cerveza, una vez fermentada, se almacena para maduración, con una disminución gradual de la temperatura hasta alcanzar 1 – 4 °C, durante un periodo que oscila entre 3 y 30 días (Ministerio de Medio Ambiente, MTD sector cervecero, 2005) para facilitar la sedimentación de los sólidos en suspensión.

Aunque aún persisten la turbidez y la levadura activa en suspensión, a diferencia de la producción industrial, la cerveza artesanal no se somete a filtración ni centrifugado. Para su clarificación, pueden emplearse tierras de diatomeas, filtros de celulosa, cartucho o cerámica, los cuales, junto con filtros esterilizantes que actúan como alternativa a la pasteurización (Buiatti et al., 2021).

Durante la guarda, la cerveza se almacena en tanques de maduración, donde se estabiliza y se clarifica mediante la sedimentación de los sólidos suspendidos.

1.4.5. Carbonatación

En la fabricación industrial esta etapa se realiza por inyección de CO₂ directamente sobre la cerveza. Sin embargo, en la fabricación artesanal la carbonatación se realiza a través de una fermentación secundaria por adición de mosto en proceso de fermentación directamente en la botella durante el embotellado. El grado de carbonatación es un aspecto importante en la calidad organoléptica del producto (Roth y Wolfgang, 2006).

1.4.6. Estabilización microbiológica y envasado

Las grandes fábricas industriales pasteurizan la cerveza para inactivar enzimas y lograr la estabilidad microbiológica de la cerveza mediante una pasteurización por túnel exponiendo el producto envasado a agua caliente a temperatura superiores a 60 °C durante al menos 5 minutos, o bien, previo al envasado se aplican temperaturas más altas durante un menor tiempo al líquido.

Mientras que, en la producción de cerveza artesanal, además de no filtrarse, tampoco se pasteuriza, quedando levaduras viables y enzimas activadas, por ello se conserva el sabor del producto recién terminado, además del sabor de las propias levaduras (Buiatti et al., 2021).

Para el envasado, se emplean máquinas de embotellado, que permiten sellar el producto final para su distribución.

2. Situación del sector

2.1. Interés creciente, reflejado en la literatura científica

El análisis de la literatura científica evidencia un creciente interés en la investigación sobre la cerveza artesanal a nivel global. En cuanto a la procedencia geográfica de los investigadores en este campo, la mayoría proviene de América del Norte, región que, junto al Reino Unido, dio origen a la moderna microcervecería (Cabras y Bamforth, 2016). Según revisiones sistemáticas, alrededor del 35% de los trabajos corresponden a autores de EE. UU., seguidos por investigadores italianos (aproximadamente 15%), británicos (aproximadamente 8%), brasileños (alrededor de 5%), australianos (aproximadamente 5%), alemanes (4%), franceses (3,5%), españoles (3,5%) y canadienses (3%). Llama la atención que investigadores de otros países cerveceros tradicionales, como México, Bélgica, China, República Checa e Irlanda, hayan contribuido con menos del 2,2% cada uno (Baiano, 2021).

La innovación en la cerveza, incluida la aparición de variantes artesanales, se alinea con las preferencias del consumidor, la sostenibilidad, el uso de nuevas materias primas, la reducción de contenido alcohólico y el desarrollo de procesos tecnológicos avanzados. Estos aspectos buscan diversificar las levaduras, mejorar las características sensoriales y garantizar la seguridad alimentaria, con el objetivo de adaptar y personalizar estilos cerveceros que respondan a las demandas de distintos grupos de consumidores.

Aunque la cerveza se considera en general un alimento relativamente seguro, existen ciertos riesgos relacionados con el uso de aditivos y la presencia de microorganismos que pueden alterar el producto, así como con los metabolitos microbianos generados durante su elaboración. Desde una perspectiva higiénica, la diferencia entre cervezas industriales y artesanales puede radicar en la contaminación microbiológica, especialmente en las cervezas que no han sido pasteurizadas ni filtradas.

Por otro lado, dado que los consumidores buscan cervezas con sabores definidos y agradables, es esencial contar con métodos que permitan identificar los compuestos de aroma y sabor que influyen en las características organolépticas, evitando sabores no deseados. Asimismo, existe un interés creciente por técnicas avanzadas para identificar nuevas moléculas de aroma en cervezas tradicionales y modernas. El análisis sensorial, combinado con métodos químicos avanzados, subraya la importancia de moléculas presentes en bajas concentraciones y las interacciones entre ellas. Además, la genómica está proporcionando información valiosa sobre las levaduras, ofreciendo herramientas para controlar alteraciones y optimizar la biodiversidad en la fermentación, desarrollando cervezas con nuevas propiedades.

En lo que respecta a la evolución de las levaduras en la producción cervecera, destacan tendencias emergentes en la cerveza artesanal, como el desarrollo de nuevas cepas eficientes de *Saccharomyces cerevisiae*, la creación de híbridos sintéticos de *S. cerevisiae* y *non-Saccharomyces*, así como el uso de levaduras *non-Saccharomyces* en cultivos mixtos o fermentaciones secuenciales con *S. cerevisiae* para modificar las características sensoriales de la cerveza. El empleo de estas levaduras no tradicionales permite un mejor

control de parámetros como el pH, el contenido alcohólico y los compuestos volátiles (Lattici et al., 2020).

2.2. El auge de la cerveza artesanal

Históricamente las grandes industrias cerveceras han centrado sus esfuerzos en la estandarización de los procesos productivos, con un enfoque predominante en la elaboración de cervezas tipo Pilsen o Lager. Estas acciones han estado orientadas principalmente a garantizar la higiene y la seguridad del producto, utilizando inóculos de cepas específicas, como *Saccharomyces pastorianus*, lo que ha dado lugar a productos uniformes tanto en características organolépticas como en su perfil sensorial.

Sin embargo, en los últimos años el sector cervecero ha experimentado una transformación significativa con la aparición de una nueva oferta de cervezas artesanales y especializadas, lo que ha contribuido a erradicar la percepción de que "todas las cervezas son iguales". Esta diversificación no solo ha revelado el lado más complejo y sofisticado de esta bebida milenaria, sino que también ha abierto nuevas oportunidades para satisfacer tanto a los consumidores tradicionales como a aquellos que buscan opciones más saludables, como cervezas sin alcohol o con bajo contenido alcohólico.

En el caso específico de España, esta tendencia ha dado lugar a un perfil de consumidor que valora las nuevas experiencias sensoriales y la autenticidad de los productos artesanales. A pesar de la creciente diversificación de estilos y tipos de cerveza, la clasificación vigente establecida por el Real Decreto 678/2016 resulta insuficiente para abarcar la amplia gama de productos disponibles en el mercado. En respuesta a esta necesidad, organismos internacionales como el *Beer Judge Certification Program* (BJCP) y la *Brewers Association* han desarrollado guías que definen los estilos tradicionales de cerveza, basándose en parámetros como la intensidad, el color, el tipo de fermentación, la familia y la región de origen (Strong y England, 2015).

Estas organizaciones destacan la clasificación por familias como el método más común, y en la Tabla 2 se detallan las principales características fisicoquímicas de cada una de ellas.

Tabla 2. Principales parámetros fisicoquímicos de las familias de cerveza definidas por la Guía de Estilos Cerveceros del BJCP. Adaptado de (Strong y England, 2015).

Familia	Amargor (IBU)		Alcohol (% ABV)		Densidad final	
	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Min</i>	<i>Máx</i>
<i>Pale lager</i>	8	35	2,4	6,3	1,004	1,015
<i>Pilsner</i>	22	45	4,2	6,0	1,008	1,017
<i>Amber lager</i>	8	45	4,4	6,3	1,008	1,017
<i>Dark lager</i>	8	34	4,2	6,0	1,008	1,017
<i>Bock</i>	16	35	6,3	14	1,011	1,035
<i>Pale ale</i>	8	50	3,8	7,5	1,002	1,018
<i>Indian Pale Ale</i>	40	120	5,0	10,0	1,008	1,018
<i>Amber ale</i>	10	50	2,5	8,5	1,007	1,018
<i>Brown ale</i>	10	40	2,8	6,2	1,008	1,015
<i>Porter</i>	18	50	4,0	9,5	1,008	1,024
<i>Stout</i>	20	90	4,0	12,0	1,007	1,030
<i>Strong ale</i>	17	100	5,5	12,0	1,005	1,040

El crecimiento de la producción artesanal ha impactado significativamente en la industria cervecera, impulsando una amplia innovación y diversidad de estilos disponibles en el mercado. Este fenómeno ha despertado un creciente interés entre los consumidores y ha llevado a que grandes corporaciones cerveceras opten por adquirir participaciones mayoritarias en cervecerías artesanales o incorporar los estilos más populares en sus catálogos (ver Tabla 3).

Tabla 3. Adquisiciones de cervecerías artesanales por grandes cerveceras (Journal of Brewers, 2018).

Cervecería Artesanal	Compañía dueña o con participación
La Virgen (España); Patagonia (Argentina); Barbarian(Perú)	AB Inbev (Bélgica-Brasil)
La Sagra (España)	Molson Coors (EE. UU.-Canadá)
La Cibeles (España)	Heineken Internacional (Holanda)
Nómada (España); Founders y Avery Brewery (EE. UU.)	Mahou-San Miguel (España)
Carlow Brewing Cia. (Irlanda)	Hijos de Rivera (España)

Ya en 2018, un estudio realizado por *Alltech* y el *Journal of Brewers* (Journal of Brewers, 2018) estimó que había más de 19.000 cervecerías en todo el mundo, de las cuales alrededor del 94% podían considerarse artesanales. La distribución geográfica de los productores de cerveza artesanal indica que el 46% de ellos se encuentra en Estados Unidos, seguido por Europa con un 43%. Otros mercados importantes incluyen Canadá (4,5%), Sudáfrica (4,5%), Australia (3%), Japón (1,6%) y Nueva Zelanda (1%). En 2019, Estados Unidos fue el país con mayor número de cervecerías pequeñas, alcanzando las 8.386, con más de 20.000 marcas de cervezas artesanales. A pesar de la popularidad de la cerveza artesanal en EE. UU., existen dificultades para establecerse en los estados del sur del país debido a una combinación de factores, como las contribuciones de grandes cerveceras a campañas políticas y la restricción del consumo de alcohol por influencias religiosas.

En esa misma época, a nivel europeo, la producción total de cerveza en 2017 fue de aproximadamente 41,2 mil millones de litros, con casi 10.500 cervecerías, de las cuales el 75% eran microcervecerías o cervecerías de tamaño pequeño o mediano. En Europa, el Reino Unido lidera el número de cervecerías con 2.430, seguido por Alemania, Francia e Italia. Sin embargo, hay una gran variabilidad en el tamaño de las cervecerías artesanales en los distintos países, lo que dificulta las comparaciones y conclusiones entre ellos. En mercados como el de la República Checa, la cerveza artesanal ha tenido un desarrollo más lento, pero en la actualidad, el 25% del mercado está en manos de cervecerías independientes de tamaño medio y pequeño.

España ocupa una posición destacada en la producción cervecera en Europa, situándose en 2023 como el segundo mayor productor con más de 41 millones de hectolitros, solo por detrás de Alemania. A nivel mundial, España ocupa el octavo lugar y aunque es un sector en crecimiento, la pandemia de COVID-19 provocó en 2020 una reducción del 12% en la producción (Asociación Española de Técnicos de Cerveza y Malta, 2024).

Además, España lidera el crecimiento en el número de cervecerías artesanales, con 521 registradas en 2023, siendo Cataluña la comunidad con más cervecerías, seguida de Andalucía y Castilla y León (Mordor Intelligence, 2023).

En términos de exportación, la popularidad de las cervezas españolas ha impulsado un crecimiento significativo en la última década, con destinos clave como Portugal, Reino Unido y China. Las importaciones también aumentaron, alcanzando los 5,3 millones de hectolitros en 2020. Actualmente, España lidera la producción y el consumo de cerveza sin alcohol en la Unión Europea, siendo este tipo de cerveza parte esencial de la vida social, representando más del 15% del consumo en 2017 (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2024).

2.3. Situación en España y Aragón

En los últimos dos años, el sector de la cervecería artesanal en España ha crecido un 10 %, a pesar del impacto negativo causado por la pandemia en 2020. Actualmente, el país cuenta con más de 500 fabricantes, que generan aproximadamente 3.400 empleos directos. Aunque este sector solo representa el 1 % del mercado cervecero nacional, el interés y conocimiento sobre la cerveza artesanal ha ido en aumento, recibiendo una excelente aceptación por parte de los consumidores. Este crecimiento se ha visto impulsado por tiendas especializadas, "*brewpubs*", festivales y redes sociales. Además, la tendencia ha llevado a que grandes marcas comerciales introduzcan productos de estilo artesanal en el mercado (Freixes y Punsola, 2021).

La producción media anual de las pequeñas cerveceras en España en 2020 ronda los 50.000 litros, según se muestra en la Figura 5. No obstante, la crisis sanitaria afectó profundamente las ventas de la cerveza artesanal, registrando una caída del 48 % respecto a 2019, debido principalmente a su dependencia del canal de hostelería, tiendas especializadas y eventos. Solo el 17,4 % de la producción artesanal se destinó al canal alimentario en 2020, aunque esta cifra está creciendo en grandes superficies como Carrefour y El Corte Inglés. El resto de las ventas se distribuye entre exportaciones (3,5 %), ventas online (2,8 %) y otros canales (4 %) (AECAI, 2021), tal como se puede ver en la Figura 6.

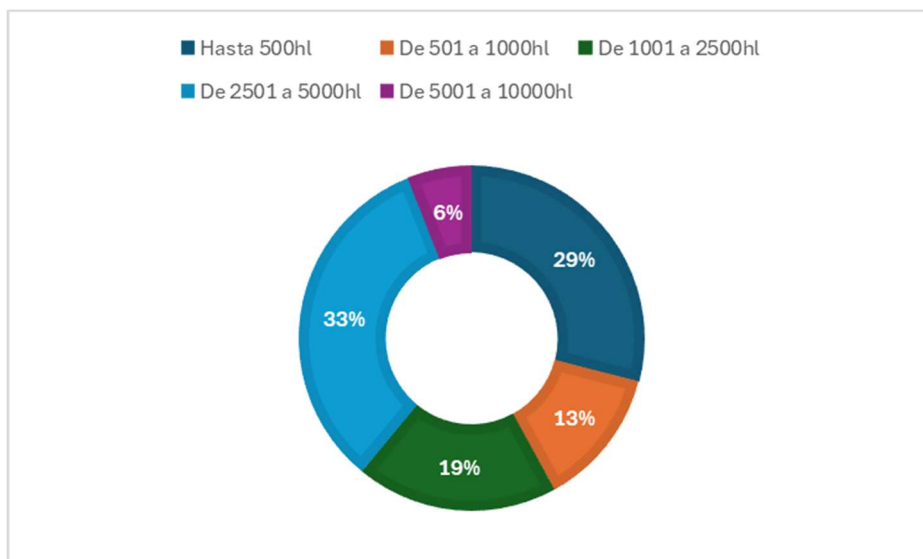


Figura 5. Porcentaje de producción de pequeñas cervecerías en España en 2020 (hL/año). (MAPA, 2023). Elaboración propia

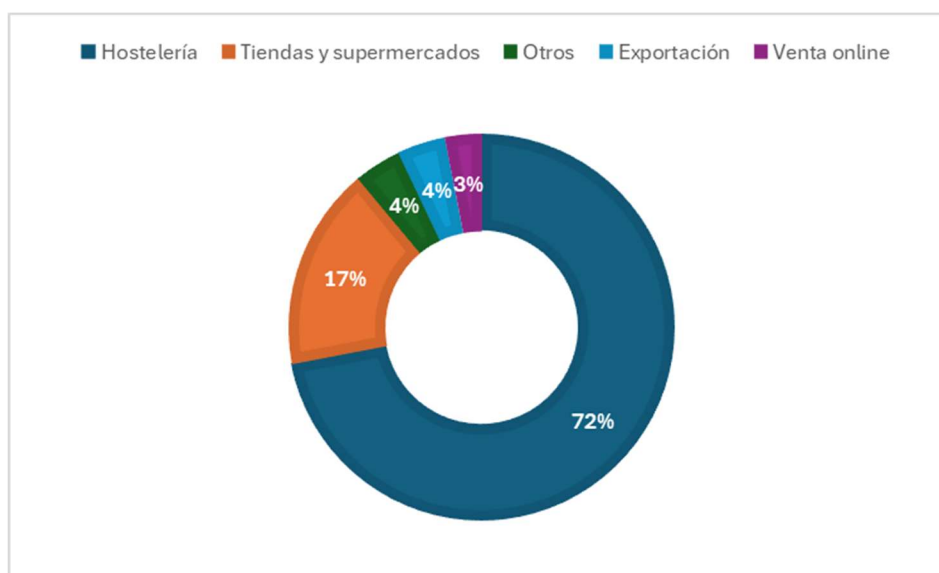


Figura 6. Canales de venta de cerveza artesanal en España (2020). (AECAI, 2021) Elaboración propia.

En Aragón, hay 33 fábricas de cerveza artesanal repartidas entre las tres provincias, algunas de las cuales han ganado reconocimiento nacional e internacional (Figura 7). La provincia de Huesca destaca con marcas como Tensina, que utiliza agua de alta montaña para sus cervezas, y Cerveza Rondadora, que produce 120.000 litros anuales y se distingue por su compromiso con la sostenibilidad, fabricando sus propios envases y organizando eventos como el Festival Rondadora (Aragón Beers, 2025).

Zaragoza es la provincia con mayor número de fábricas de cerveza artesanal en Aragón, concentrando casi la mitad de la producción regional. Destacan marcas como Cierzo Brewing, reconocida por sus cervezas de fermentación mixta y sus colaboraciones con

cerveceras internacionales, y Cerveza Artillera, que ha apostado por ingredientes autóctonos en la elaboración de sus variedades.

En la provincia de Teruel, actualmente existen únicamente siete fábricas de cerveza artesanal, lo que representa una oportunidad significativa para el desarrollo de este sector, especialmente en localidades como Mas de las Matas.

Ante el auge global del consumo de cerveza artesanal, establecer una nueva cervecería en esta zona podría resultar altamente beneficioso. La disponibilidad de materias primas de kilómetro cero facilitaría la producción de cervezas de alta calidad, al mismo tiempo que se fomentaría el comercio local y se potenciaría la economía de la región.

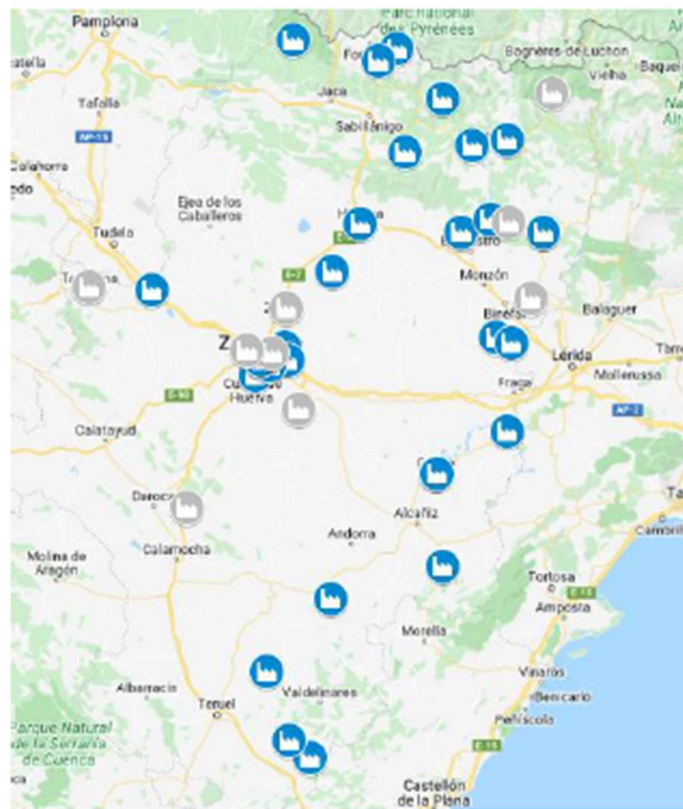


Figura 7. Mapa de las fábricas de cerveza artesanal en Aragón (Aragón Beers, 2025)

3. Justificación de la ubicación

La elección de este emplazamiento para la nueva industria cervecera se fundamenta en una serie de razones estratégicas, sociales, económicas y ambientales que justifican su idoneidad. Este proyecto no solo busca generar un producto de alta calidad, sino también contribuir de manera significativa al desarrollo sostenible de la región, aprovechando los recursos locales y alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU. La ubicación en un entorno rural con una rica tradición agrícola, un fuerte sentido de comunidad y cercanía a materias primas de proximidad convierte a Mas de las Matas en un lugar ideal para fomentar una industria que, además de aspirar a ser competitiva, sea responsable con el entorno.

3.1. Situación geográfica del municipio

Mas de las Matas, ubicado en el Bajo Aragón, representa una ubicación estratégica para el desarrollo del proyecto, no solo por su valor personal, sino también por sus ventajas logísticas y comerciales (Figura 8). La localidad cuenta con buenas conexiones por carretera como la N-232 y cercanía a la ampliación de la autovía Zaragoza-Alcañiz, por lo que es accesible para los principales centros de distribución y venta de la región, facilitando el acceso a mercados cercanos y optimizando los costes de transporte. Además, su proximidad a proveedores de materias primas esenciales como la cebada permite reducir costes de aprovisionamiento y garantizar un suministro de ingredientes de calidad.



Figura 8. Localización de Mas de las Matas, en la comarca del Bajo Aragón.

Un factor determinante en la elección de esta ubicación es la disponibilidad de una nave en propiedad, lo que supone una reducción significativa en los costes de implantación y en el tiempo necesario para la puesta en marcha del proyecto. Al evitar la necesidad de adquirir o alquilar nuevas instalaciones, se puede destinar una mayor parte del capital inicial a la optimización de los procesos productivos y a la adquisición de equipos de alta eficiencia.

3.2. Mercado cervecero

El mercado cervecero en España ha crecido de manera sostenida en los últimos años, consolidándose como una de las industrias más dinámicas del sector agroalimentario. En 2022, la producción de cerveza en España alcanzó los 41,1 millones de hectolitros, situándose como el segundo mayor productor de Europa, solo por detrás de Alemania (Cerveceros de España, 2023). Este crecimiento se ha visto impulsado por el auge del consumo, que alcanzó los 55 litros per cápita, y por el interés creciente en cervezas artesanales y de proximidad, una tendencia que se refleja en el incremento del número de micro cervecerías en el país. Según la Asociación Española de Cerveceros Artesanos Independientes (AECAI, 2023), el sector ha pasado de 21 fábricas en 2008 a más de 500 en 2022, mostrando una expansión sin precedentes.

En Aragón, esta tendencia también ha tenido un impacto significativo. La comunidad cuenta actualmente con 33 fábricas de cerveza artesanal, la mayoría concentradas en Zaragoza y Huesca, mientras que Teruel presenta solo siete fábricas (Aragón Beers, 2025). Este desequilibrio territorial representa una oportunidad clara para la expansión del sector en la provincia turolense, donde la baja competencia y la creciente demanda de productos locales favorecen la viabilidad de nuevos proyectos cerveceros.

Mas de las Matas, en la comarca del Bajo Aragón, se presenta como una ubicación estratégica para la instalación de una cervecería artesanal. La localidad ofrece ventajas clave como la disponibilidad de agua de alta calidad, un elemento esencial en la producción cervecera, y el acceso a materias primas locales como la cebada, ampliamente cultivada en la provincia de Teruel. Además, la cercanía con mercados como Zaragoza, Castellón y Valencia facilita la distribución y comercialización del producto, permitiendo expandir la venta de la cerveza artesanal más allá de Aragón. Estas provincias, con un fuerte turismo y una cultura cervecera en crecimiento, representan una excelente oportunidad para posicionar una marca diferenciada y de proximidad.

El auge del consumo de cerveza artesanal en España responde a un cambio en los hábitos de los consumidores, que buscan productos diferenciados y de mayor calidad. Actualmente, la cerveza artesanal representa aproximadamente el 1,5% del total del mercado cervecero español, con una previsión de crecimiento sostenido en los próximos años (AECAI, 2023). En Aragón, este segmento de mercado ha ganado protagonismo, impulsado por iniciativas como el Festival Birragoza o la consolidación de marcas locales reconocidas a nivel nacional. En este contexto, establecer una cervecería en Mas de las Matas permitiría aprovechar esta tendencia en expansión, ofreciendo un producto autóctono y alineado con las nuevas preferencias de consumo, con capacidad de comercialización tanto en Aragón como en comunidades cercanas.

La elección de Mas de las Matas como sede para una cervecería artesanal está respaldada por el crecimiento del mercado cervecero en España, la escasa competencia en Teruel y el potencial de Aragón como productor de cervezas de alta calidad. Además, su ubicación estratégica facilita la distribución del producto no solo dentro de Aragón, sino también en comunidades limítrofes como la Comunidad Valenciana, donde el mercado cervecero y el turismo pueden contribuir significativamente a la consolidación de la marca.

3.3. Aprovechamiento del entorno productivo

Mas de las Matas se sitúa en una de las principales zonas cerealistas de la región, lo que representa una ventaja competitiva indiscutible para una industria cervecera. La proximidad a los campos de cultivo locales no solo garantiza un suministro constante y de alta calidad de materias primas, sino que también se enmarca en una estrategia de sostenibilidad, donde el concepto de "km 0" se convierte en un valor añadido. Al utilizar ingredientes de proximidad, como los cereales producidos en la misma comarca, se reduce significativamente el impacto ambiental asociado al transporte de insumos. Este enfoque refuerza el compromiso con la sostenibilidad y la producción responsable, y fomenta una economía circular en la que los agricultores locales se benefician directamente del crecimiento de la industria cervecera.

Además, la relación cercana con los productores agrícolas locales permite establecer colaboraciones a largo plazo, garantizando la trazabilidad de los ingredientes y asegurando que los cultivos utilizados cumplen con altos estándares de calidad. Esto no solo mejora la reputación de la cerveza como un producto artesanal y de origen local, sino que también fortalece el tejido económico de la comunidad al dar un impulso a la agricultura de la región. Este enfoque de economía circular es clave para la sostenibilidad del proyecto y responde al ODS 12, ya que promueve una producción respetuosa con el medio ambiente y el uso eficiente de los recursos naturales disponibles.

3.4. Sinergias con otras cervecerías artesanales

La proximidad de Mas de las Matas a la cervecería artesanal de Valjunquera ofrece una oportunidad única para establecer alianzas estratégicas que beneficien a ambas industrias. En un mercado tan competitivo como el de la cerveza artesanal, la cooperación entre pequeñas cervecerías puede marcar la diferencia en términos de visibilidad y expansión de mercado. El intercambio de conocimientos, técnicas de producción y estrategias comerciales entre la cervecería de Valjunquera y la nueva fábrica en Mas de las Matas no solo enriquecerá los procesos de ambas, sino que también abrirá la puerta a colaboraciones conjuntas en eventos, ferias y promociones.

Además, la cercanía entre ambas cervecerías permitirá explorar oportunidades de marketing conjunto, donde la promoción mutua aumentará el alcance de ambas marcas. Contar como vecina, con una cervecería artesanal bien establecida permite aprender de sus mejores prácticas y adaptar aquellas estrategias que han resultado exitosas. En un contexto rural, este tipo de sinergias tiene un impacto considerable en la atracción de turistas interesados en el turismo gastronómico, una tendencia en crecimiento que puede traer beneficios económicos no solo a las cervecerías, sino a toda la comunidad.

Esta colaboración no solo fomenta el crecimiento económico de la región, sino que también se alinea con el ODS 8, que promueve el trabajo decente y el crecimiento económico. Al consolidar una red de pequeñas empresas locales, se fortalece el tejido productivo de la comarca, creando empleo de calidad y oportunidades de desarrollo para los residentes.

3.5. Contribución al desarrollo sostenible y a la lucha contra la despoblación

Uno de los problemas más acuciantes de la comarca del Bajo Aragón y de muchas otras regiones rurales de España es la despoblación. La falta de oportunidades laborales, combinada con el envejecimiento de la población, ha llevado a un éxodo de jóvenes hacia las ciudades en busca de mejores perspectivas de futuro. Este proyecto cervecero se presenta como una oportunidad para contrarrestar esta tendencia, al generar empleo local y ofrecer a los jóvenes la posibilidad de desarrollarse profesionalmente en su lugar de origen.

La fábrica no solo proporcionará empleo directo en las fases de producción y distribución, sino que también impulsará otros sectores relacionados, como el transporte, la agricultura y el turismo. Al colaborar con los agricultores locales y con otras pequeñas empresas de la zona, se contribuirá a crear una red de colaboración que fomentará el crecimiento económico de manera sostenida. Además, este proyecto promueve la fijación de población, al ofrecer alternativas laborales atractivas en un entorno rural. Esto no solo mejorará la calidad de vida de los residentes, sino que también ayudará a preservar la identidad y el patrimonio cultural de la región.

Este compromiso con la revitalización del mundo rural se alinea directamente con el ODS 10, que busca reducir las desigualdades. En este caso, el objetivo es equiparar las oportunidades de desarrollo entre las zonas urbanas y las áreas rurales, contribuyendo a una distribución más equitativa de los recursos y a un crecimiento económico más inclusivo.

3.6. Nave

La nave que se va a emplear en este proyecto está ubicada en C/ Eras Altas 47 (44564) Mas de las Matas (Teruel). Tiene una referencia catastral de 2043702YL3224C0001ZQ (Figura 9). Esta nave, de uso industrial y clasificada como urbano, presenta varias características estacadas (Figura 10).

En primer lugar, el hecho de que la nave sea de propiedad y cuente con un coeficiente de participación del 100% proporciona una estabilidad financiera significativa. Esto elimina la necesidad de incurrir en gastos adicionales relacionados con arrendamientos o alquileres, lo que permite destinar esos recursos a otras áreas críticas del negocio, como la compra de maquinaria y materias primas. La propiedad del local también proporciona una mayor flexibilidad en la planificación a largo plazo y en las posibles ampliaciones o modificaciones que se necesiten a medida que el negocio crezca.

La superficie total de 199 m² (20m x 10m) es adecuada para llevar a cabo todas las etapas del proceso productivo de la cervecería. Esta área permite la instalación de los equipos necesarios, que incluyen la maquinaria de limpieza, molienda, cocción, fermentación y embotellado, además de proporcionar espacio para el almacenamiento de materias primas y productos terminados.

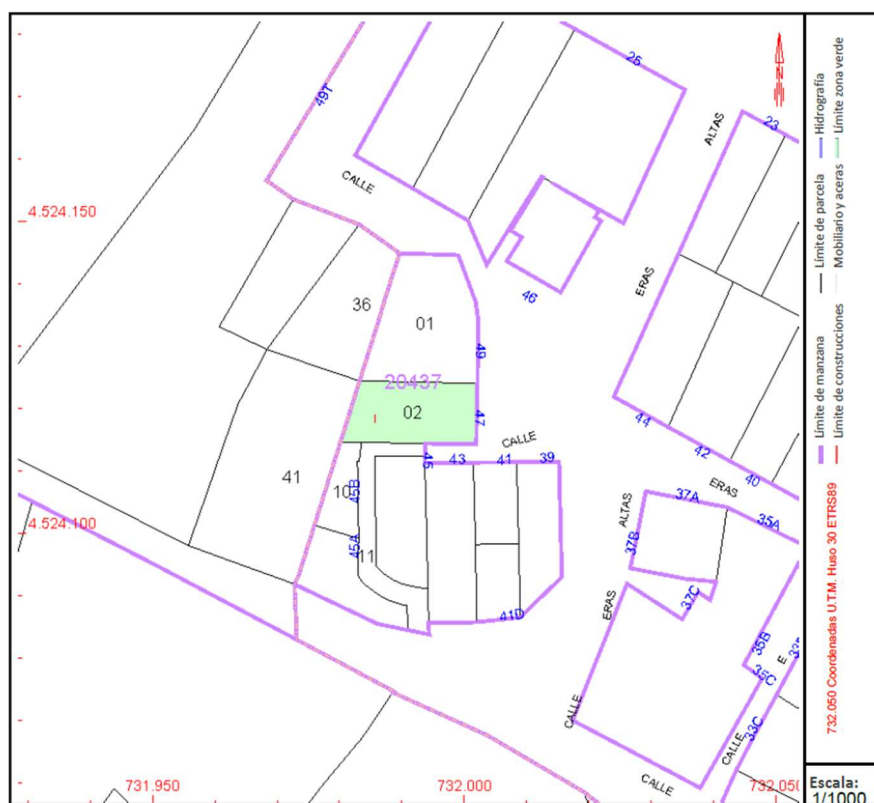


Figura 9. Representación en verde de la situación de la nave (Sede Catastro, 2025).



Figura 10. Imagen de la fachada de la nave (Sede Catastro, 2025).

Actualmente, la nave cuenta con una altura de 8 metros; sin embargo, se planea la instalación de un doble techo que reducirá esta altura a 3 metros, superando así la recomendación normativa de 2,5 metros para garantizar un entorno higiénico y funcional en la producción de alimentos. En el Reglamento (CE) No 852/2004, se establece que "los

techos (o, cuando no hubiera techos, la superficie interior del tejado), falsos techos y demás instalaciones suspendidas deberán estar contruidos y trabajados de forma que impidan la acumulación de suciedad y reduzcan la condensación, la formación de moho no deseable y el desprendimiento de partículas". Esta altura adicional de 3 metros no solo facilitará el cumplimiento de estas regulaciones, sino que también permitirá una mejor circulación del aire y una mayor flexibilidad en la disposición del equipo y las instalaciones, lo que es importante para el proceso de elaboración de cerveza. Aunque el almacenamiento vertical podría llevarse a cabo en el espacio superior del doble techo, complicaría el diseño del *lay-out* y los trabajos de instalación. Por lo tanto, se optará por esta solución que prioriza la funcionalidad y el cumplimiento normativo, garantizando así un entorno de trabajo seguro y eficiente.

Es importante destacar que el equipo más alto, la limpiadora de cereal, tiene una altura de 1,9 metros, dejando un espacio sobrante de 1,1 metros hasta el doble techo. Este espacio adicional es beneficioso, ya que permite la instalación de sistemas de climatización si fuera necesario y contribuye a una adecuada ventilación, lo cual es fundamental para prevenir la acumulación de humedad y garantizar un ambiente limpio.

Otro aspecto relevante es la estructura rectangular de la nave, que permite una distribución eficiente del espacio. La forma rectangular facilita la disposición de las diferentes áreas de trabajo y garantiza una circulación adecuada del personal y del producto a lo largo de las distintas etapas del proceso. Esta configuración no solo optimiza el flujo de trabajo, sino que también contribuye a una gestión más efectiva de los recursos y minimiza el riesgo de accidentes en el entorno laboral.

La construcción de la nave data de 1950, lo que proporciona una solidez estructural adecuada para el tipo de actividad que se va a desarrollar. Aunque el edificio tiene cierta antigüedad, puede ser adaptado y reformado para satisfacer las necesidades específicas de la cervecería, asegurando que cumpla con las normativas actuales de sanidad y seguridad. Esta versatilidad es fundamental para garantizar un entorno de trabajo óptimo y eficaz en la producción de cerveza artesanal.

Además, la nave se encuentra aneja al polígono industrial de Mas de las Matas y está situada al lado de la carretera A-225, a escasos kilómetros de las N-232 y N-211, lo que facilita enormemente la llegada de materias primas y distribución de los productos. Este aspecto es fundamental, ya que permite un acceso rápido y eficiente a los canales de distribución y a los clientes. La localización también es ventajosa porque no hay vecinos alrededor, lo que minimiza los inconvenientes relacionados con los humos y ruidos generados durante el proceso de producción. Según el Ministerio de Transición Ecológica, las zonas de uso industrial están diseñadas para albergar actividades que puedan generar impactos ambientales, garantizando que las emisiones sonoras no excedan los 65 dB en horario diurno y los 55 dB en horario nocturno, conforme a la legislación vigente (Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido). Esto asegura que el proyecto de cervecería no solo cumpla con las regulaciones locales, sino que también se integre adecuadamente en el entorno industrial, minimizando molestias a la población vecina y promoviendo un desarrollo sostenible.

4. Proceso productivo

4.1. Normativa

La producción de cerveza artesanal en Aragón está sujeta a una serie de normativas autonómicas y nacionales que regulan diversos aspectos del proceso productivo, desde la calidad del producto hasta la gestión ambiental y la artesanía alimentaria. A continuación, se detallan las principales normativas aplicables en la Comunidad Autónoma de Aragón.

4.1.1. Legislación sanitaria y de calidad alimentaria

Aunque gran parte de la legislación sanitaria y de calidad alimentaria es de ámbito nacional y europeo, en Aragón se complementa con normativas autonómicas que refuerzan el control y la seguridad de los productos alimentarios:

- Ley 9/2006, de 30 de noviembre, de Calidad Alimentaria en Aragón: Esta ley tiene como objetivo garantizar la calidad de los productos alimentarios elaborados en la comunidad, estableciendo los requisitos y controles necesarios para asegurar su seguridad y adecuación a los estándares establecidos.
- Orden de 15 de febrero de 2011, del Departamento de Agricultura y Alimentación, por la que se aprueba el Reglamento de la Artesanía Alimentaria en Aragón: Esta orden desarrolla aspectos específicos de la artesanía alimentaria, incluyendo requisitos para el reconocimiento de artesanos y empresas artesanales, así como normas de funcionamiento del Registro de la Artesanía Alimentaria de Aragón.

4.1.2. Legislación sobre artesanía alimentaria

La producción de cerveza artesanal se enmarca en la artesanía alimentaria, por lo que es relevante la siguiente normativa:

- Ley 1/1989, de 24 de febrero, de Artesanía de Aragón: Esta ley regula y fomenta las actividades artesanales en la comunidad, incluyendo la producción de alimentos de manera tradicional y en pequeñas cantidades.
- Orden de 29 de marzo de 2007, del Departamento de Industria, Comercio y Turismo, por la que se establece el procedimiento para la concesión del Documento de Calificación Artesanal: Esta orden establece el procedimiento para obtener el reconocimiento oficial como artesano en Aragón, lo cual es relevante para los productores de cerveza artesanal que deseen acogerse a los beneficios y reconocimientos asociados a la artesanía.

4.1.3. Legislación ambiental y de gestión de residuos

La actividad cervecera implica la generación de residuos y el uso de recursos naturales, por lo que es esencial cumplir con la normativa ambiental vigente en Aragón:

- Ley 11/2014, de 4 de diciembre, de Prevención y Protección Ambiental de Aragón: Esta ley establece el marco legal para la prevención y control de la contaminación, incluyendo las obligaciones de las industrias en materia de evaluación de impacto ambiental, autorizaciones y gestión de residuos.

Esta ley no aplica directamente a la cervecería artesanal, ya que está orientada principalmente a actividades industriales de mayor impacto ambiental. La Ley 11/2014 de Prevención y Protección Ambiental de Aragón regula actividades que generan un impacto ambiental significativo, tales como industrias químicas, plantas de tratamiento de residuos, explotaciones mineras y grandes instalaciones agroalimentarias. La cervecería artesanal no entra dentro de las categorías que requieren una Autorización Ambiental Integrada (AAI) ni una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Además, la producción de cerveza en este caso es artesanal y de pequeña escala, 500 L por lote, por lo que no se trata de una industria a gran escala que genere vertidos contaminantes en cantidades significativas ni emisiones atmosféricas relevantes.

Aunque la cervecería genera residuos como el bagazo, levaduras residuales y aguas de lavado, estos son biodegradables, de bajo impacto y se pueden gestionar con métodos convencionales como su uso en alimentación animal o compostaje, lo que minimiza su impacto ambiental.

En lugar de esta ley, la cervecería debe cumplir con la Ley 22/2011 de Residuos y Suelos Contaminados, que regula la correcta gestión de residuos sin necesidad de una evaluación ambiental compleja. Además, el Reglamento de Vertidos de Aragón establece los límites para los vertidos industriales, aplicando controles más adecuados para industrias pequeñas como esta.

- Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados: Aunque es de ámbito nacional, su aplicación en Aragón es fundamental para la correcta gestión de los residuos generados durante el proceso de elaboración de la cerveza, asegurando su tratamiento adecuado y minimizando el impacto ambiental.

El cumplimiento de estas normativas garantiza que la producción de cerveza artesanal en Aragón se realice de manera segura, sostenible y conforme a los estándares de calidad exigidos, protegiendo tanto al consumidor como al medio ambiente y a los trabajadores involucrados en el proceso.

4.2. Materias primas

La calidad de la cerveza depende en gran medida de las materias primas utilizadas en su elaboración. Para garantizar un producto final de alta calidad, es fundamental seleccionar cuidadosamente los insumos, así como establecer criterios estrictos para su adquisición.

Este apartado describe las materias primas empleadas en el proceso, los proveedores potenciales, los criterios de calidad exigidos y las necesidades mensuales de abastecimiento en función del volumen de producción establecido.

En el proceso productivo planteado en este estudio, las materias primas utilizadas son las siguientes:

- *Cebada*: Como la filosofía del proyecto es centrarse en la economía circular y el aspecto social tiene un peso importante, además de abaratar costes, la cebada se consumirá directamente de agricultores locales, sin importar la variedad siempre y cuando cumplan con las exigencias de calidad. Se les exigirá que la cebada tenga un peso específico > 64 kg/hl, una humedad $\leq 12\%$ y un poder germinativo superior al 95%, además de un contenido en almidón superior al 60%. En caso de fallo en la distribución, se contará con el distribuidor de cereal Silos del Ebro de Caspe, Zaragoza.
- *Lúpulo*: El lúpulo se adquirirá a la SAT lúpulos de León, que produce el 99% del lúpulo en fincas españolas en los valles de Órbigo y Tuerto. Se les exigirá unos parámetros de calidad, entre los que destaca: 6 – 12 % ácidos alfa, 5 – 8 % ácidos beta y una humedad inferior al 10 %. En caso de fallo en la distribución se contará con la distribuidora Lúpulo Gallego de Betanzos, A Coruña.
- *Agua*: Se empleará el agua de la red de abastecimiento público, y debe controlarse el pH (5-7,5) a diario, como se especifica en el plan de autocontrol.
- *Levadura*: Para el proceso productivo, se han escogido dos variedades de levadura, *Saccharomyces pastorianus* y *Saccharomyces cerevisiae var. bayanus*, para fermentación en tanque y fermentación en botella respectivamente. Se comprarán al proveedor Fermentis by Lesaffre. Se le exigirá una viabilidad celular superior al 95% y ausencia de contaminantes biológicos.
- *Azúcar*: Se optará por azúcar blanco común, comprado a la distribuidora local Distribuciones Alcañiz Bajo Aragón SL.

Así mismo, a los proveedores se les exigirá un control de la trazabilidad y un compromiso con la sostenibilidad.

4.3. Productos elaborados

En la cervecería se producirá cerveza tipo Pilsen, que pertenece a la familia de las Lager y se fermentan a temperaturas más bajas (8-14 °C) con levaduras de fermentación baja (*Saccharomyces pastorianus*). Se caracterizan por su claridad, fresca y sabor equilibrado entre malta y lúpulo. Color dorado brillante y espuma blanca, aroma limpio con notas a malta y toque de lúpulo final, sabor equilibrado entre malta y lúpulo y alta carbonatación. Sus características son:

- *Contenido alcohólico*: 4,2 - 5,5 % ABV
- *IBU (amargor)*: 20 - 40

- Color (EBC): 6 - 12
- pH final: 4.0 - 4.3

4.4. Ingeniería del proceso productivo

La elaboración de cerveza artesanal es un proceso complejo que involucra una serie de operaciones interrelacionadas, cada una con un impacto significativo en la calidad y las características finales del producto. Desde el tratamiento inicial de la cebada hasta la distribución final, cada etapa requiere un control preciso de parámetros como temperatura, tiempo y composición. Estos procesos, han ido evolucionando gracias al uso de tecnologías que buscan optimizar la eficiencia energética y garantizar un producto de alta calidad, manteniendo al mismo tiempo el enfoque artesanal.

Esto implica que hay una serie de decisiones técnicas en las fases productivas como el malteado, la cocción, la fermentación y el envasado, donde se controlan parámetros microbiológicos y fisicoquímicos que definen tanto el sabor y aroma, como la estabilidad y seguridad del producto final (Figura 11). Este apartado detalla cada una de las etapas involucradas en la producción de cerveza artesanal, siguiendo el diagrama de flujo del proceso productivo de cerveza artesanal descrito en la Figura 1, que aborda desde el malteado hasta la distribución del producto final.

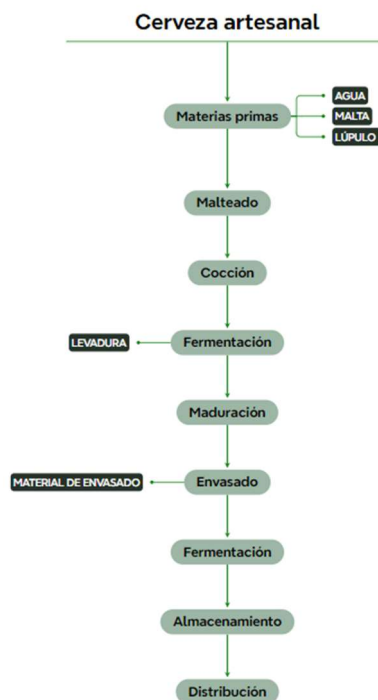


Figura 11. Diagrama de producción de cerveza artesanal (Ministerio de Medio Ambiente, MTD del sector cervecero, 2005).

4.4.1. Malteado

4.4.1.1. Limpieza y selección de la cebada

La primera etapa en el proceso de producción de cerveza es la limpieza y selección de la cebada, cuyo objetivo es eliminar impurezas y garantizar que solo los granos de mejor calidad continúen en el proceso de malteado.

La limpieza de la cebada se realiza mediante una limpiadora de cereales, la cual separa piedras, polvo, restos vegetales y granos defectuosos mediante cribas y sistemas de aspiración. En esta fase, también se realiza la calibración de los granos, asegurando que el tamaño sea uniforme para lograr una germinación homogénea.

Esta etapa es crucial, ya que impurezas y granos defectuosos pueden afectar la calidad del malteado y, posteriormente, el sabor y estabilidad de la cerveza.

4.4.1.2. Remojo de la cebada

Una vez finalizado el secado de la cebada que ha sido recibida y almacenada en las malterías, comienza el proceso de remojo. Este paso permite que el agua penetre en el grano, activando las enzimas presentes e iniciando la germinación. Durante esta fase, la cebada realiza un proceso de respiración, por lo que es necesario suministrarle oxígeno y agua. Además, es importante eliminar el dióxido de carbono producido durante la germinación para mantener un ambiente adecuado.

Durante la operación de remojo, diversos factores influyen en la determinación del tiempo necesario para que el grano se hidrate correctamente y esté en condiciones óptimas para iniciar la germinación. Entre estos factores se encuentran la temperatura del agua, el tipo de cebada y el tamaño del grano. En lo que respecta a la temperatura del agua, cuanto más alta sea, más rápido el agua penetrará hasta el embrión dentro del grano, reduciendo así el tiempo total de remojo, tal como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Temperatura del agua y tiempo referentes al remojo de la malta (Palmer, 2013)

Temperatura del agua (°C)	Tiempo (h)
5	90
10	70
15	45

Otros de los factores que afectan al tiempo de remojo es el tamaño del grano de cebada, puesto no tarda lo mismo un grano de tamaño grande a un grano de tamaño pequeño, por ello mismo en fases anteriores se produce una clasificación del grano para que en este proceso el remojo sea uniforme. Ante un tiempo de 90 h y ante diferentes tamaños de grano, se observa que el remojo no es el mismo, un grano de menor tamaño absorbe mayor cantidad de agua que un grano de mayor tamaño (Palmer, 2013). Es por ello por lo que, en

la etapa anterior, además de limpiar impurezas de la cebada, también se clasifica en calibre.

Una vez comienza el proceso de remojo y el grano empieza a absorber agua, es necesario el abastecimiento del oxígeno ya que comienza la respiración. En el caso que a la cebada le falte oxígeno, no estará bien preparada para el proceso de germinación, con lo que podrá producirse la muerte del embrión. Para abastecer a la cebada de oxígeno, a las 8h del remojo, se cambia el agua y se airea el producto con una motobomba, la misma que irá inyectando aire filtrado para la oxigenación del agua a lo largo del resto de tiempo de remojo. Tras las 45 horas de remojo a 15 °C, la cebada adquiere el contenido en humedad deseado, 40-45 % de humedad (Palmer, 2013).

Durante el remojo, el grano de cebada absorbe agua de manera muy rápida al principio, pero dicha absorción va disminuyendo a medida que pasa el tiempo. Una pequeña parte del grano no se hunde por lo que se queda flotando en dicho tanque, estos granos que por lo general representan el 0,2 % son desechados ya que son granos vacíos. Esto se realizará manualmente.

4.4.1.3. Germinación

Una vez finalizado el remojo de la cebada, comienza la fase de germinación. En esta etapa, el grano, con niveles óptimos de humedad y aireación, inicia el desarrollo de una nueva planta. Para que este proceso ocurra, el grano necesita una cantidad considerable de energía, obtenida a través de la respiración celular. La temperatura durante la germinación varía entre 14 y 20 °C, lo que es crucial para garantizar un desarrollo adecuado.

Durante la germinación, se distinguen varias fases, como los procesos de crecimiento. En esta etapa, el grano produce raicillas, que aparecen después del remojo, ramificándose en pequeñas raíces. Estas raíces contribuyen a la merma durante el malteado, por lo que es fundamental realizar la germinación a temperaturas y tiempos controlados para minimizar el crecimiento de estas y con ello, minimizar dicha pérdida.

Otra fase clave es la formación de enzimas. Tras absorber el agua, el embrión del grano libera sustancias que activan la producción de nuevas enzimas, especialmente en la capa de aleurona. Entre las principales enzimas que se generan están las que degradan el almidón, como la α -amilasa, β -amilasa y la dextrina límite.

La α -amilasa, que no está presente en la cebada sin germinar, rompe los enlaces 1-4 de la cadena de almidón de manera desordenada, generando glucosa, maltosa y dextrinas. Su formación alcanza su máximo entre el tercer y cuarto día de germinación, cuando se requiere una gran cantidad de oxígeno para su desarrollo óptimo. La temperatura óptima de este enzima oscila entre 72 y 75 °C.

Por otro lado, la β -amilasa ya está presente en la cebada sin germinar y aumenta significativamente en los primeros días de la germinación. Esta enzima también rompe los enlaces 1-4, pero de manera ordenada y solo en los extremos de la cadena, produciendo maltosa. La temperatura óptima de funcionamiento de la β -amilasa es entre 62 y 65 °C.

Adicionalmente, se generan enzimas citolíticas como la endo- β -glucanasa, exo- β -glucanasa, β -glucanosolubilasa y endo-xilanasa, que descomponen las paredes celulares del grano, liberando el almidón. La β -glucanasa, la más importante de este grupo, degrada los betaglucanos en dextrinas, facilitando la ruptura de la estructura celular rígida del grano. Esto incrementa la friabilidad del grano, permitiendo que pueda ser fácilmente triturado al final de la germinación (Bamforth, 2009).

En este caso, la germinación durará 5 días y se mantendrá a 20 °C.

4.4.1.4. Secado y tostado

Una vez que finaliza la germinación, es necesario detener el proceso para evitar que el embrión continúe desarrollándose y consumiendo los nutrientes de reserva del grano. Esto se logra mediante el secado y posterior tostado de la cebada. Durante este proceso, se busca reducir el contenido de agua, bajándolo del 40 % al 5 %, lo que permite conservar la malta en óptimas condiciones y mejorar su capacidad de almacenamiento. Para eliminar el agua, se emplea una corriente de aire caliente que atraviesa la malta, secándola gradualmente. Durante esta fase, se presta especial atención a las enzimas, realizando un pre-secado a temperaturas inferiores a 50°C para protegerlas, ya que son esenciales para la posterior degradación de compuestos en la fase de maceración (Kunze, 2014).

Tabla 5. Temperaturas de desnaturalización de los enzimas presentes en la malta (Bamforth, 2009).

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

Los aminoácidos reaccionan con los azúcares, dando lugar a la formación de compuestos que generan aromas intensos y colores rojizos a marrones. Estas reacciones, conocidas como reacción de Maillard, producen los productos responsables de los aromas y colores característicos, especialmente en maltas oscuras. Por el contrario, en maltas más claras como las de tipo Pilsner, se busca evitar la formación excesiva de estos productos. Cuanto mayor es la temperatura y el tiempo de tostado, mayor es la cantidad de productos derivados de la reacción de Maillard. Para minimizar estos compuestos, es recomendable

utilizar maltas con menor modificación proteica y realizar un pre-secado a temperaturas entre 35 y 40 °C (Bamforth, 2009).

Para estas operaciones, se emplea el mismo horno que el utilizado en la etapa de germinación, pero modificando los parámetros de temperatura y convección de aire.

- *Pre-secado*: la temperatura se mantiene a 40 °C durante un periodo de 10 horas, lo que permite reducir progresivamente el contenido de humedad sin afectar la actividad enzimática. Esta fase es crítica, ya que la protección de las enzimas, especialmente la α -amilasa y β -amilasa, es fundamental para asegurar un rendimiento óptimo durante la fase de maceración. A medida que avanza el proceso, la corriente de aire caliente utilizada atraviesa la malta de manera uniforme, favoreciendo la pérdida gradual de agua hasta alcanzar niveles que permiten su conservación (Briggs, 2004).
- *Secado*: el contenido de humedad de la malta desciende hasta 5%. Esta fase se lleva a cabo a 75 °C, y se prolongará durante 5 horas. En esta etapa, es esencial controlar cuidadosamente las condiciones de temperatura y tiempo para evitar la caramelización excesiva (Briggs, 2004).
- *Tostado*: Tras alcanzar el contenido de humedad deseado, la malta pasa a la etapa de tostado. Aquí, el grano es expuesto a temperaturas superiores a 90 °C para desarrollar los aromas y colores característicos del producto final. Esta etapa se prolonga durante 2 horas para alcanzar los niveles de productos de Maillard requeridos (Briggs, 2004).

4.4.1.5. Molienda

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

4.4.2. Cocción

Una vez completado el proceso de secado y tostado, la malta se utiliza para la preparación del mosto cervecero mediante el proceso de cocción. La cocción de la malta es una de las etapas más importantes en la producción de cerveza, ya que permite la extracción de azúcares fermentables, la esterilización del mosto y la adición de lúpulos que aportan sabor y aroma. En este caso, se propone realizar la cocción utilizando gas butano y un rosco como fuente de energía, lo cual es común en muchas cervecerías artesanales debido a su alta eficiencia y disponibilidad.

El objetivo de la cocción es lograr una disolución y conversión completa de los azúcares presentes en la malta, además de garantizar la esterilización del mosto. Los lúpulos se añadirán en momentos específicos durante la cocción, lo que permitirá ajustar el perfil de amargor y aroma de la cerveza.

Fases del proceso de cocción:

- *Maceración y extracción de azúcares:* Durante la primera fase, se mezclan la malta con el agua. La mezcla se calienta de forma gradual hasta alcanzar una temperatura de 65-70 °C, lo que favorece la acción de las enzimas presentes en la malta, como la α -amilasa y β -amilasa, que descomponen los almidones en azúcares fermentables. Este proceso dura aproximadamente 60-90 minutos, dependiendo de la receta y del tipo de malta utilizada.
- *Cocción del mosto:* Una vez finalizada la maceración y recirculación del mosto, se procede a la cocción a 100 °C durante 90 minutos. En esta fase, se eliminan compuestos volátiles no deseados como el dimetilsulfuro y se esteriliza el mosto. Además, se añade el lúpulo en tres momentos distintos: al inicio para el amargor, a la mitad para el sabor, y al final para el aroma.

Enfriamiento del mosto: Tras la cocción, es esencial enfriar rápidamente el mosto a temperaturas óptimas para la fermentación utilizando intercambiadores de calor (8-12 °C para Pilsen – Lager).

4.4.3. Filtrado

Una vez finalizada la fermentación primaria, se procede a eliminar el bagazo y otros sedimentos sólidos mediante una filtración y decantación. En el caso de una cerveza turbia, no se busca una clarificación total, sino una separación selectiva de las partículas más grandes, permitiendo mantener la turbidez característica del estilo. En este proceso, se utiliza una bomba que filtra y transfiere la cerveza al siguiente tanque en un solo paso, facilitando el movimiento del líquido y la separación de los sólidos. Además, se incluye una etapa de extracción del bagazo, en la que se realiza un lavado del bagazo con agua caliente para recuperar los extractos solubles y compensar la pérdida de volumen durante la cocción. Se propone para esta etapa utilizar una decantación y posteriormente un filtrado con bomba.

Fases del proceso de filtrado:

- *Filtrado y transferencia simultánea:* El proceso de filtración y transferencia de la cerveza se realiza en un solo paso. Se utiliza una bomba equipada con un filtro de malla gruesa que permite retener las partículas más grandes, como el bagazo, mientras transfiere la cerveza filtrada a los tanques de fermentación. Esta operación es clave para asegurar que la cerveza mantenga su turbidez característica sin la presencia de sólidos indeseados.
- *Extracción del bagazo y lavado:* Una vez que el filtrado inicial ha finalizado, el bagazo residual en el filtro aún contiene extractos solubles. Para recuperarlos y maximizar

el rendimiento, se realiza un lavado del bagazo con agua caliente. Este paso permite extraer los azúcares y otros componentes solubles que aún permanecen en el bagazo, diluyendo ligeramente el mosto, pero recuperando parte del volumen de agua evaporado durante la cocción.

4.4.4. Fermentación

Una vez finalizado el proceso de cocción y enfriamiento, el mosto está listo para la fermentación, que es una de las fases más importantes en la producción de cerveza, especialmente para cervezas tipo Lager. Durante esta etapa, las levaduras transforman los azúcares del mosto en alcohol y dióxido de carbono (CO₂), generando los sabores y aromas característicos de la cerveza. Para este proceso, se emplearán fermentadores de acero inoxidable con control de temperatura, asegurando un entorno ideal para la levadura *Saccharomyces pastorianus* (White, 2010).

Parámetros de procesado elegido:

- Temperatura de fermentación (cervezas Pilsen – Lager): 8-12 °C
- Duración de fermentación primaria: 7-14 días
- Duración de maduración: 3-6 semanas a temperaturas más bajas (0-4 °C)
- Tipo de levadura: *Saccharomyces pastorianus* (cervezas Pilsen – Lager)
- Tipo de fermentador: 2 tanques cilíndricos de acero inoxidable con sistema interior de control de temperatura.

El objetivo de la fermentación es transformar los azúcares fermentables del mosto en alcohol etílico y CO₂, permitiendo también que la levadura contribuya con aromas y sabores suaves y limpios, característicos de las cervezas Lager. Este proceso debe realizarse en condiciones estrictamente controladas para obtener un producto final de alta calidad.

Fases del proceso: de fermentación

- *Inoculación de la levadura*: Una vez enfriado el mosto a la temperatura de fermentación adecuada para una cerveza Lager (entre 8 y 12 °C), se inocula la levadura *Saccharomyces pastorianus*. La cantidad de levadura depende del volumen de mosto y la densidad de los azúcares presentes. Para asegurar una fermentación eficiente, es fundamental añadir la levadura en la cantidad adecuada y en las mejores condiciones.
- *Fermentación primaria*: Durante esta fase, la levadura consume los azúcares del mosto, convirtiéndolos en alcohol y CO₂. En el caso de las cervezas Lager, este proceso se lleva a cabo a temperaturas más bajas (entre 8 y 12 °C) y durante un período más largo, que oscila entre 7 y 14 días. El control de la temperatura es crítico, ya que una temperatura constante y baja favorece la producción de una cerveza con un perfil limpio y suave, minimizando la creación de ésteres y fenoles indeseados.

- *Fermentación secundaria y maduración (Lagering)*: Tras la fermentación primaria, la cerveza pasa por una fase de maduración a baja temperatura, denominada *lagering*. Durante esta etapa, la cerveza se mantiene en tanques a una temperatura cercana a 0-4 °C durante un período que puede extenderse de 3 a 6 semanas. Esta fase permite que los sabores se suavicen y estabilicen, y ayuda a que la cerveza adquiera mayor claridad y frescura.
- *Control del CO₂ y limpieza de sabores*: Durante la fermentación, el CO₂ producido es liberado a través de válvulas en el fermentador, controlando la presión para evitar la acumulación de gases indeseados. Esta fase también permite que la cerveza desarrolle los aromas sutiles y limpios característicos de las Lager, ya que la levadura trabaja más lentamente a temperaturas bajas.

Aunque la fermentación no requiere una gran cantidad de energía directa como en la cocción, el proceso genera calor debido a la actividad metabólica de las levaduras, lo que hace necesario un control térmico constante, especialmente en cervezas Lager, donde la fermentación se realiza a temperaturas más bajas. Para mantener esta temperatura, se requiere un sistema de refrigeración que regule la temperatura dentro de los tanques, que será, como veremos más adelante, un tanque con camisa de refrigeración.

4.4.5. Maduración

Después de completar la fermentación, la cerveza Lager pasa por la fase de maduración o *lagering*, una etapa esencial para refinar el sabor y estabilizar los compuestos aromáticos. En esta fase, la cerveza se somete a un almacenamiento prolongado (3-6 semanas) a bajas temperaturas (0-4 °C), lo que permite que los sabores se suavicen y los sólidos se asienten. Para este proceso se utilizará un tanque cónico de acero inoxidable equipado con un implemento interior para regular la temperatura, lo que permite mantener un control preciso de las condiciones de refrigeración (Boto, 2017).

Fases del proceso de maduración:

- *Transferencia a tanques de maduración*: Tras la fermentación primaria, la cerveza se transfiere al tanque maduración. El diseño cónico del tanque facilita la acumulación de sedimentos en el fondo, lo que contribuye a una clarificación natural. El sistema de regulación de temperatura interno del tanque asegura que la cerveza se enfríe gradualmente hasta la temperatura ideal de maduración, entre 0 y 4°C.
- *Maduración a baja temperatura*: La maduración o *lagering* se lleva a cabo a temperaturas cercanas al punto de congelación. Durante esta fase, que puede durar entre 3 y 6 semanas, la actividad de la levadura disminuye, permitiendo que los compuestos no deseados sean eliminados y que los sabores se suavicen. Es fundamental mantener una temperatura estable durante todo el proceso para lograr una cerveza limpia y equilibrada.

- *Clarificación natural:* A medida que la cerveza madura, las bajas temperaturas permiten que los sólidos suspendidos, como las proteínas y restos de levadura, se aglutinen y precipiten al fondo del tanque cónico. Este proceso natural de clarificación reduce la turbidez de la cerveza, dándole un aspecto más claro y brillante, característico de las cervezas Lager.
- *Control de CO₂:* Durante la maduración, el dióxido de carbono producido en la fermentación primaria sigue disolviéndose en la cerveza, lo que permite una carbonatación natural. Si es necesario, se puede ajustar el nivel de CO₂ mediante el implemento interior del tanque, para asegurar una carbonatación uniforme y adecuada.

4.4.6. Embotellado y fermentación en botella.

Tras completar la fase de maduración, la cerveza Lager está lista para ser embotellada. Antes de realizar este proceso, se lleva a cabo un paso crucial para garantizar la correcta carbonatación de la cerveza durante el almacenamiento en botella. Este paso consiste en la dosificación de azúcar y la adición de una pequeña cantidad de levadura en el tanque de maduración, lo que permite que ocurra una fermentación en botella. Durante esta fermentación, las levaduras consumen el azúcar, generando CO₂, lo que produce la carbonatación natural de la cerveza. La dosis de azúcar se calcula en función del volumen de cerveza y el nivel de carbonatación deseado (generalmente entre 6 y 8 gramos de azúcar por litro de cerveza). La levadura se añade en una pequeña cantidad (*unos 0,5 g por litro de mosto*) para evitar sabores excesivos de levadura en la cerveza embotellada. (Bamforth, 2009).

Para la fermentación en botella, se ha decidido utilizar la levadura *Saccharomyces cerevisiae var. bayanus*, una cepa comúnmente empleada en la producción de vinos espumosos y cervezas que requieren una fermentación secundaria controlada. Esta levadura es altamente tolerante al alcohol y trabaja bien a temperaturas de almacenamiento bajas, lo que asegura una fermentación lenta y uniforme en botella. Además, su capacidad para asentarse en el fondo de la botella minimiza el riesgo de turbidez excesiva, garantizando una carbonatación óptima sin alterar el perfil sensorial de la cerveza Lager. Su elección permite mantener el carácter limpio y refrescante de la cerveza, mientras produce el nivel adecuado de CO₂ para una carbonatación natural y equilibrada. Tras el embotellado y taponado de las botellas, éstas se almacenan en un lugar oscuro a 15 °C para permitir que ocurra la fermentación secundaria. Esta fase suele durar entre 2 y 3 semanas, dependiendo de la temperatura de almacenamiento y el nivel de azúcar añadido. Durante este tiempo, la levadura añadida consume el azúcar, produciendo CO₂ que queda atrapado en la botella, lo que genera la carbonatación natural de la cerveza.

Aunque el proceso de llenado no requiere mucha energía, es importante tener en cuenta el tiempo de operación y la capacidad de la máquina para estimar el consumo energético total.

4.4.7. Etiquetado

Esta etapa es fundamental, ya que no solo permite identificar el producto, sino que también asegura el cumplimiento de las normativas legales vigentes en relación con la comercialización de bebidas alcohólicas en España y la Unión Europea.

Durante esta fase, las botellas son etiquetadas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la legislación, asegurando que la información proporcionada al consumidor sea clara, veraz y cumpla con los estándares establecidos. En cuanto a las características que debe tener la etiqueta, estas deben incluir, al menos, las siguientes menciones obligatorias, según lo dispuesto en la Reglamento (CE) 1169/2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor:

- *Denominación del producto:* Debe especificarse que se trata de "cerveza", de forma clara y destacada en la etiqueta.
- *Contenido neto:* Se debe indicar el volumen de bebida en la botella, expresado en litros (L) o mililitros (mL).
- *Grado alcohólico:* El porcentaje de alcohol por volumen (% ABV) debe aparecer de manera visible, ya que es una de las menciones esenciales según la legislación europea.
- *Ingredientes:* La etiqueta debe enumerar todos los ingredientes utilizados en la elaboración de la cerveza, con la excepción de aquellos ingredientes que estén presentes en cantidades muy pequeñas (menores al 2%) o que no sean relevantes para la salud, como ciertas levaduras o componentes aromáticos.
- *Fecha de consumo preferente:* Debe figurar la fecha límite en la que se recomienda consumir la cerveza para garantizar su frescura y calidad.
- *Lote de fabricación:* El número de lote es necesario para el seguimiento y trazabilidad del producto, en caso de que surjan problemas relacionados con la seguridad alimentaria.
- *Información sobre alérgenos:* Según el Reglamento (UE) 1169/2011, los alérgenos presentes deben destacarse claramente, como la cebada (gluten) y otros ingredientes que puedan generar reacciones alérgicas.
- *Nombre o razón social del fabricante:* La etiqueta debe incluir el nombre del fabricante, su dirección y, si es aplicable, la denominación social de la empresa.
- *País de origen:* Es necesario especificar el país de origen de la cerveza, que en este caso sería España, en cumplimiento con la legislación sobre el etiquetado de productos alimenticios.

Además de estas menciones obligatorias, la etiqueta puede incluir información adicional, como descripciones de las características del producto, notas de cata o detalles sobre el proceso de producción, siempre y cuando no induzcan a error al consumidor. Esta

información adicional debe cumplir con la normativa general de publicidad y etiquetado de productos alimenticios.

Es importante destacar que la legislación sobre el etiquetado de bebidas alcohólicas está sujeta a cambios y actualizaciones, por lo que es necesario mantener una vigilancia constante sobre las normativas vigentes para asegurar el cumplimiento de estas.

4.4.8. Almacenaje y expedición

Una vez que las botellas son etiquetadas, medidas en cajas y distribuidas en palés, se llevan a la sala de almacenamiento donde se guardan hasta su expedición. Éstas van a guardarse en las estanterías tanto por tipo de cerveza como por fecha de producción, para que se venda en primer lugar las producciones más tardías frente a las más recientes, atendiendo al modelo de rotación de stocks *first-in/first-out*.

Respecto al tiempo y espacio que ocupa el producto, se pretende no tener un gran stock y, en la medida de lo posible, dar salida al producto poco después de embotellar un lote de cada tipo de cerveza. De este modo, el espacio de almacenamiento se va a dimensionar atendiendo al espacio que ocupe dos lotes.

4.4.9. Control de calidad del producto

El control de calidad se realizará en diferentes etapas clave del proceso para garantizar la estabilidad y la calidad del producto final.

- *Inspección de materias primas:*
 - Verificación visual de la cebada (limpieza, tamaño uniforme).
 - Comprobación del contenido de humedad antes y después del remojo.
- *Control en la maceración:*
 - Medición de Grados Brix con refractómetro para determinar la concentración de azúcares fermentables en el mosto.
 - Medición del pH, que debe estar entre 5,2-5,6 para una conversión enzimática óptima.
- *Control en la fermentación:*
 - Medición de la densidad del mosto con un densímetro para seguir la conversión de azúcares en alcohol.
 - Control de temperatura para garantizar la actividad óptima de la levadura.
- *Control en la maduración:*
 - Evaluación sensorial (color, aroma, sabor).
 - Medición del nivel de CO₂ disuelto.

- *Control en el embotellado:*
 - Verificación de la carbonatación en las botellas antes de su comercialización.
 - Revisión de sellado de envases y etiquetado.

El proceso productivo de la cerveza requiere un seguimiento continuo, tanto en la planificación temporal como en la medición de parámetros de calidad en cada etapa. Con la correcta implementación de controles de calidad y medición de parámetros fisicoquímicos, se garantiza un producto final estable, seguro y de alta calidad para su comercialización.

Para asegurar la calidad del producto, se monitorizarán los siguientes parámetros:

Tabla 6. Parámetros de procesado.

Etapa	Parámetro	Instrumento	Valores de referencia
Maceración	Grados Brix	Refractómetro	10 – 16 °Bx
	pH	pH - metro	5,2 – 5,6
Fermentación	Densidad del mosto	Densímetro	1,040 – 1,060 g/mL (inicio) 1,010 – 1,015 g/mL (final)
	Temperatura	Sensor de temperatura	8 - 12 °C (Lager)
Maduración	Color y turbidez	Análisis visual	Sin partículas en suspensión
	Niveles de CO ₂	Medidor de presión	2,2 - 2,8 vol. CO ₂
Embotellado	Sellado de botellas	Inspección visual	Correctamente sellado
Producto final	Sabor y aroma	Cata sensorial	Sin defectos y equilibrio adecuado de sabores y aromas

4.5. Estimación de la demanda de producción y justificación del proceso productivo

La demanda de cerveza artesanal proyectada para la cervecería en Mas de las Matas se estima 6500 litros anuales en su fase inicial de comercialización. Esta estimación se basa en el crecimiento sostenido del mercado cervecero artesanal en España, el interés por productos de proximidad en Aragón y las provincias cercanas como Valencia y Castellón.

Con la tendencia actual de los consumidores hacia cervezas más diferenciadas y de calidad, la demanda en esta zona es prometedora, aunque aún en una fase inicial de desarrollo (AECAI, 2021).

Para ajustar la producción a esta demanda y garantizar un producto de alta calidad, se ha diseñado un proceso productivo basado en lotes de 500 litros. Este tamaño de lote es óptimo por varias razones. En primer lugar, permite una mayor flexibilidad en la producción, adaptándose a las fluctuaciones de la demanda sin incurrir en costos elevados por exceso de inventario. Además, el tamaño del lote se ajusta a la capacidad de la planta y al espacio disponible, lo que no requiere grandes superficies de almacenamiento, una ventaja importante dada la naturaleza artesanal del producto.

Otro factor fundamental en la elección de lotes de 500 litros es la vida útil limitada de la cerveza artesanal, que no recibe pasteurización final, como ocurre en los procesos industriales. Esto significa que la cerveza mantiene sus características de frescura y sabor en los primeros días después de su producción, pero pierde calidad con el tiempo. Elaborar en lotes más pequeños garantiza que la cerveza se sirva siempre con una fecha temprana de producción, preservando sus cualidades organolépticas y cumpliendo con las expectativas de los consumidores que buscan un producto fresco y de calidad superior.

Por lo tanto, la estimación de demanda de 6500 litros anuales se alinea con un proceso productivo basado en lotes de 500 litros, que no solo optimiza el uso del espacio y los recursos, sino que también asegura la calidad del producto. Esta estrategia de producción adaptada a la demanda proyectada permitirá ofrecer cerveza artesanal de calidad, con una rotación rápida y manteniendo la exclusividad de cada lote producido. A medida que la demanda crezca, será posible ajustar la producción y escalar el proceso manteniendo los estándares de calidad.

5. Plan de autocontrol (APPCC)

El autocontrol en la industria alimentaria es un aspecto fundamental para garantizar la seguridad del producto final y cumplir con la normativa vigente. Para ello, se implementan sistemas basados en el *Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (APPCC)*, junto con una serie de *Planes de Higiene* que aseguran la correcta gestión de las condiciones sanitarias en la producción.

5.1. Sistema APPCC

El APPCC es un método preventivo que identifica, evalúa y controla los peligros que pueden comprometer la inocuidad del producto en cada etapa del proceso. Su aplicación en la cervecería permite detectar riesgos físicos, químicos y biológicos, estableciendo medidas de control para minimizar su impacto. Este sistema se basa en siete principios clave:

- *Identificación de peligros y análisis de riesgos en cada fase del proceso.*
- *Determinación de los Puntos de Control Crítico (PCC) donde se deben aplicar medidas de control específicas.*
- *Establecimiento de límites críticos para cada PCC.*
- *Monitorización de los PCC para garantizar que se cumplen los límites establecidos.*
- *Acciones correctivas en caso de desviaciones en los PCC.*
- *Verificación del sistema para asegurar su eficacia.*
- *Registro y documentación de todas las medidas implementadas.*

5.2. Planes de Higiene

Complementando el APPCC, los Planes Generales de Higiene (PGH) garantizan el mantenimiento de condiciones óptimas de limpieza y sanidad en la cervecería. Aunque no se han elaborado dichos planes, están presentes en el documento de los análisis de peligros, y es necesario comentar su existencia. Estos planes incluyen:

1. Plan de Control de Aguas (PH-CA-25)
2. Plan de Limpieza y Desinfección (PH-LyD-25)
3. Plan de Control del Transporte (PH-CT-25)
4. Plan de Homologación de Proveedores (PH-HP-25)
5. Plan de Trazabilidad (PH-T-25)
6. Plan de Formación y Buenas Prácticas de los Manipuladores (PH-FBPM-25)
7. Plan de Lucha Contra Plagas (PH-LP-25)
8. Plan de Mantenimiento de Instalaciones, Materiales y Equipos (PH-MIME-25)

Dado que la documentación del sistema APPCC y los Planes de Higiene es extensa y detallada, se ha decidido incluir su desarrollo completo en el Anexo I. Allí se presentan los

diagramas de flujo del proceso, la identificación de peligros y las medidas de control específicas, junto con los protocolos de higiene y mantenimiento. Esto permitirá una consulta estructurada y facilitará su aplicación en la cervecería.

Como se expone en el análisis de peligros, ninguno de los peligros es un PCC (punto crítico de control), y todos son PPROs (prerrequisitos operacionales), lo que indica que todos los peligros que hay presentes en el proceso productivo están controlados por los planes de higiene y no hace falta implementar ningún procedimiento de seguridad para ninguna de las fases de procesado.

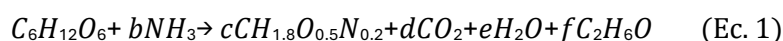
6. Balances de materia y energía

Este apartado presenta los balances de materia y energía para cada etapa del proceso productivo de la cerveza artesanal, considerando como base de cálculo la producción de un lote de 500 litros de cerveza artesanal. La información aquí descrita es esencial para comprender las entradas y salidas de materia, así como los requerimientos energéticos específicos de cada operación. Estos análisis permiten optimizar el proceso, mejorar la eficiencia energética y garantizar un desarrollo sostenible del proyecto cervecero.

6.1. Cálculos de producción

En la industria se van a producir 65 hL anuales de cerveza artesana de tipo Pilsen. Atendiendo al diagrama de Gantt (Apartado 8.1.1) y el tiempo de fabricación de la cerveza, se producirán 13 lotes anuales de 500 L cada uno.

La ecuación bioquímica que define el proceso de fermentación tiene en cuenta tanto la formación de etanol (C_2H_6O) a partir de glucosa ($C_6H_{12}O_6$) como el crecimiento de la levadura (Ecuación 1), y se produce en condiciones anaerobias. Cabe destacar que la fórmula bioquímica de la levadura adoptada es la genérica, $CH_{1.8}O_{0.5}N_{0.2}$, ya que la composición de las células de las distintas especies es muy similar incluso en condiciones muy distantes. Por tanto, esta ecuación es la genérica que se suele tomar cuando no se ha realizado un análisis elemental de los microorganismos. Se suelen tomar los valores promedio expresados en base a un átomo de carbono, ya que la composición química de las células de las distintas especies es muy similar incluso en condiciones muy diferentes de crecimiento (Doran, 1995).



Los coeficientes estequiométricos de la Ecuación 1 se han ajustado mediante balances elementales al carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno según se indica:

- *Carbono:*

$$6 = c + d + 2 * f$$

- *Hidrógeno*

$$12 + 3 * b = 1,8 * c + 2 * e + 6 * f$$

- *Oxígeno*

$$6 = 0,5 * c + 2 * d + e + f$$

- *Nitrógeno*

$$b = 0,2 * c$$

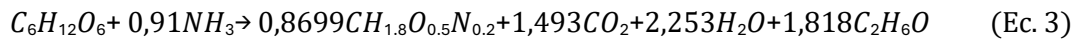
Dado que el sistema queda indeterminado al tener cuatro ecuaciones y cinco incógnitas, se introduce el dato del rendimiento de producto (etanol) a partir de sustrato (glucosa) (Y_{PS})

para obtener el valor del coeficiente f (Ecuación 2). Se introducen los pesos moleculares para aplicar el cambio de unidades de g/g a mol/mol.

$$Y_{ps} = f * \frac{PM_{EtOH}}{PM_{Glu}} \quad (Ec. 2)$$

Teóricamente, las levaduras del género *Saccharomyces* son capaces de producir 0,511 g de etanol por g de glucosa metabolizada. Sin embargo, se ha determinado experimentalmente que se alcanza entre el 87% y el 95% de dicho valor, debido a la energía que invierten las células en su mantenimiento (Hernández-Mora & Acevedo-Páez, 2014). Por tanto, se ha considerado un valor de rendimiento efectivo de 0,91 g de etanol por g de glucosa metabolizada.

Finalmente, para su resolución se ha empleado el programa EES (ver ANEXO II). Como resultado se ha obtenido la ecuación de la reacción ajustada, tal como se indica en la siguiente ecuación:



Conociendo el volumen de etanol formado tras finalizar la fermentación, se puede obtener la cantidad de levadura producida gracias a la Ecuación 3. Para ello, se calcula la masa de etanol de los productos finales utilizando la densidad y se relaciona estequiométricamente con la biomasa ($CH_{1.8}O_{0.5}N_{0.2}$) tomando 500 L de cerveza como base de cálculo. Partiendo de las graduaciones de etanol deseadas en la cerveza a producir, 5% (ABV) se tiene:

$$m_{EtOH} = ABV * \rho_{EtOH} = 0,05 * 0,79 \text{ kg/L} = 39,45 \text{ g/L}$$

$$0,0395 \frac{\text{kg EtOH}}{\text{L}} * 500 \text{ L} * \frac{1 \text{ kmol EtOH}}{46 \text{ kg EtOH}} * \frac{0,8699 \text{ kmol levadura}}{1,818 \text{ kmol EtOH}} * \frac{24,6 \text{ kg levadura}}{1 \text{ kmol}}$$

$$= 5,05 \text{ kg levadura}$$

6.2. Densidad del mosto y cerveza

En primera instancia, es necesario conocer la relación existente entre la densidad del mosto cocido (ρ_s) con su concentración de azúcares fermentables (Tabla 7). De esta manera, se puede controlar la graduación final de etanol que se alcanzará tras la fermentación teniendo en cuenta el rendimiento (Y_{ps}).

Tabla 7. Tabla de correspondencia de la concentración de azúcares en mosto (Laffort, 2018)

°Brix	Densidad (kg/L)	Azúcares (g/L)
10,0	1,0417	84,9
10,5	1,0430	91,0
11,0	1,0443	95,0
11,5	1,0463	101,8
12,0	1,0484	106,8
12,5	1,0505	112,1
13,0	1,0526	117,6
13,5	1,0547	122,7
14,0	1,0586	129,0
14,5	1,0581	133,9
15,0	1,0611	138,9
15,5	1,0633	145,7
16,0	1,0654	145,7
16,5	1,0676	155,7
17,0	1,0698	162,2

A continuación, utilizando el rendimiento de etanol a partir de glucosa (Y_{ps}), se calculan la concentración de azúcares fermentables necesaria en el mosto cocido antes de la fermentación a partir de la masa de etanol por litro de cerveza.

$$[Glucosa] = [EtOH]/Y_{PS}$$

Suponiendo un rendimiento efectivo del 90%:

$$[Glucosa] = \frac{39,45}{0,511 \times 0,90} = 86,2 \text{ g/L}$$

Además, hay que tener en cuenta que los azúcares fermentables representan aproximadamente el 75% de los azúcares totales en el mosto (Sanchis, Orive & Ramos, 2000), por lo que la concentración total de azúcares requerida en el mosto antes de la fermentación es:

$$[Azucars\ totales] = [Glucosa]/0,75$$

$$[Azucars\ totales] = 114,9 \text{ g/L}$$

Con los datos de la Tabla 7, se pueden interpolar los resultados de concentración de azúcar en el mosto (g/L) para conocer las densidades (kg/L) y grados Brix.

Una vez conocida la densidad del mosto cocido y su correspondencia en grados Brix, esta etapa se podrá controlar mediante mediciones con densímetro o refractómetro. La densidad de la cerveza final (ρ_9) se puede obtener teniendo en cuenta la densidad y el contenido de etanol (5% ABV), tomando como base de cálculo 1 litro de cerveza.

6.3. Balances de materia

Para la resolución del balance general de materia se va a aplicar de la Ley de Conservación de la Materia: la masa que entra menos la que sale, más la que se genera, menos la que se consume, es igual a la que se acumula.

$$E-S+G-C = A \quad (\text{Ec. 4})$$

donde, E : masa que entra a través de los límites del sistema; S : masa que sale a través de los límites del sistema; G : masa generada dentro del sistema; C : masa consumida dentro del sistema y A : masa acumulada dentro del sistema.

Todas las etapas que se realizan en la agroindustria son en estado estacionario. Se supone que no se produce acumulación durante la etapa ($A=0$). Además, en las etapas en las que no hay reacción química no existe término de consumo de materias primas ($C=0$), ni generación de productos ($G=0$). Por lo que la Ecuación 4, quedaría como:

$$E-S = 0 \quad (\text{Ec. 5})$$

Se va a emplear el software *Engineering Equation Solver* (EES) para plantear y resolver el ajuste de la reacción bioquímica de la fermentación y el balance de materia.

Para mantener coherencia en la nomenclatura, todas las corrientes de materia se han etiquetado como m_i , donde i es un número correlativo que representa un flujo de entrada o salida. Igualmente, hay unas corrientes llamadas v que indican el volumen del producto. La relación de las corrientes se indica en la tabla siguiente:

Tabla 8. Relación de las corrientes del proceso industrial.

Corriente	Descripción
m1	Masa de cebada inicial con 12% de humedad
m2	Masa de cebada limpia después de eliminar impurezas
m3	Masa de cebada humedecida con 40% de humedad
m4	Masa de cebada germinada tras la germinación
m5	Masa de malta seca con 5% de humedad tras el secado
m6	Masa de malta molida tras la molienda
m7	Masa de mosto cocido tras la cocción
m8	Masa de mosto filtrado tras la filtración
m9	Masa de cerveza sin madurar tras la fermentación
m10	Masa de cerveza madurada tras la maduración
m11	Masa de cerveza envasada tras el embotellado
m_{final}	Masa de cerveza lista para distribución
v7	Volumen de mosto cocido tras la evaporación
v8	Volumen de mosto filtrado tras la filtración
v9	Volumen de cerveza sin madurar tras la fermentación
v10	Volumen de cerveza madurada tras la maduración
v11	Volumen de cerveza envasada tras el embotellado
v_{final}	Volumen de cerveza lista para distribución

En la Figura 12 se incluye un diagrama de flujo con la nomenclatura de cada corriente que se ira nombrado en los siguientes apartados para los cálculos de balance de materia.



Figura 12. Diagrama de flujos de la agroindustria propuesta para un lote de producción.

A continuación, se describen los balances de materia para cada una de las etapas propuestas en la agroindustria.

6.3.1. Malteado

6.3.1.1. Limpieza y selección de cebada

En esta etapa se eliminan impurezas de la cebada antes de iniciar su procesamiento, lo que supone un 1% de la masa que entra (Figura 13). Aplicando la ecuación del balance general de material (Ec. 5), quedaría que:

$$m_1 = m_2 + m_{\text{impurezas}} \quad (\text{Ec. 6})$$

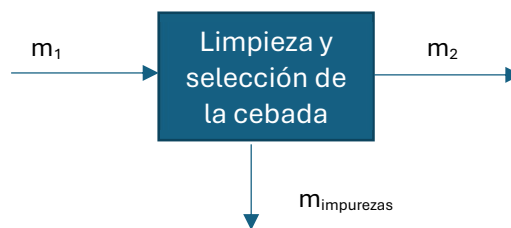


Figura 13. Balance de materia a la etapa de limpieza y selección de la cebada.

- *Entrada:* $m_1=100$ kg de cebada.
- *Salida:*
 - $m_2 = 100 - 1 = 99$ kg de cebada limpia.
 - *Impurezas eliminadas (1% peso):* $m_{\text{impurezas}} = 0,01 \times 100 = 1$ kg.

6.3.1.2. Remojo de la cebada

En esta etapa se hidrata la cebada hasta alcanzar un 40% de humedad (Figura 14). Como ya tiene un 12% de humedad (es decir 11,9 kg de agua), calcularemos con la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) el agua que va a adsorber.

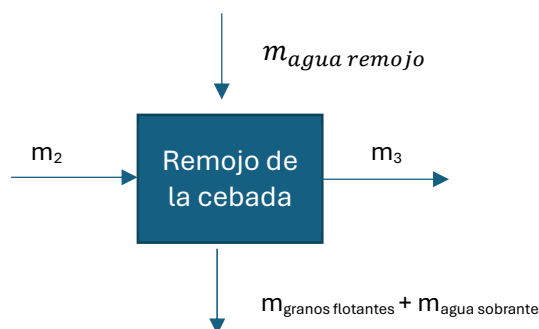


Figura 14. Balance de materia a la etapa de remojo de la cebada.

$$m_3 = m_2 - m_{\text{granos flotantes}} + m_{\text{agua remojo}} \quad (\text{Ec. 7})$$

- **Entrada:**
 - $m_2 = 99 \text{ kg de cebada}$
 - $50 \text{ kg agua de remojo, } 50\% \text{ peso de la cebada de entrada.}$
- **Salida:**
 - $m_{\text{granos_flotantes}} = 0,002 \times 99 = 0,198 \text{ kg}$
 - $m_{\text{agua sobrante}} = 50 - 31,44 = 18,56 \text{ kg}$

$$m_3 = (m_2 - m_{\text{granos_flotantes}}) * \left[1 + \frac{(0,4 - 0,12)}{1 - 0,12} \right] = 130,2 \text{ kg}$$

6.3.1.3. Germinación

Durante la germinación, se activan enzimas que transforman los almidones en azúcares fermentables. Se pierde 4% de masa por respiración (Figura 15). Calcularemos con la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) las pérdidas por respiración celular.



Figura 15. Balance de materia a la etapa de germinación de la cebada.

$$m_4 = m_3 - m_{\text{respiración}} \quad (\text{Ec. 8})$$

- **Entrada:** $m_3 = 130,3 \text{ kg de cebada húmeda.}$
- **Salida:** $m_{\text{respiración}}: 0,04 \times 130,3 = 5,2 \text{ kg}$

$$m_4 = m_3 - m_{\text{respiración}} = 130,2 - 5,2 = 125 \text{ kg}$$

6.3.1.4. Secado y tostado

Durante esta etapa se reduce el contenido de humedad del 40% al 5%, eliminando el exceso de agua (Figura 16). Utilizaremos la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) para calcular la masa de la corriente m_5 :

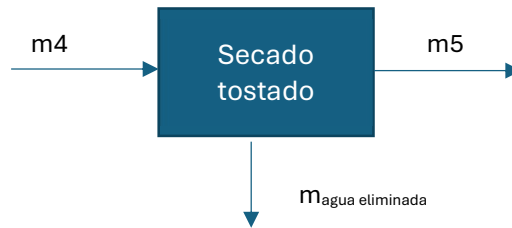


Figura 16. Balance de materia a la etapa de secado-tostado de la cebada.

$$m_5 = m_4 - m_{\text{agua eliminada}} \quad (\text{Ec. 9})$$

- *Entrada:* $m_4 = 125 \text{ kg}$
- *Salida:*
 - $m_{\text{agua eliminada}} = 125 \cdot (0,40 - 0,05) = 43,76 \text{ kg}$
 - $m_5 = m_4 - m_{\text{agua eliminada}} = 125 - 43,76 = 81,24 \text{ kg}$

6.3.1.5. Molienda

En la molienda se generan pérdidas del 0,5% en forma de polvo (Figura 17). Utilizando la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) hallaremos la masa de la corriente m_6 :

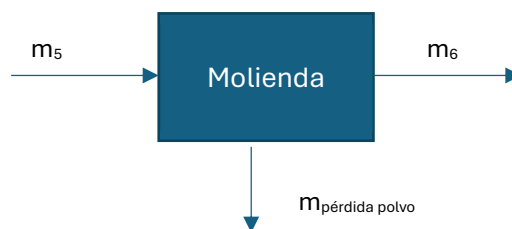


Figura 17. Balance de materia a la etapa de molienda de la malta.

$$m_6 = m_5 - m_{\text{pérdida polvo}} \quad (\text{Ec. 10})$$

- *Entrada:* $m_5 = 81,3 \text{ kg de malta seca.}$
- *Salida:*

- $m_{p\acute{e}rdida\ polvo} = 0,005 \times 81,24 = 0,406\ kg$
- $m_6 = m_5 - m_{p\acute{e}rdida\ polvo} = 81,24 - 0,406 = 80,86\ kg$

6.3.1.6. Cocción

Se agregan 531,5 litros de agua (mediante iteración gracias al programa EES) y 750 g de lúpulo (1,5g/L producto final). Durante la cocción se evapora el 10 % del agua (Figura 18). Utilizando la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) hallaremos la masa de la corriente m_7 :

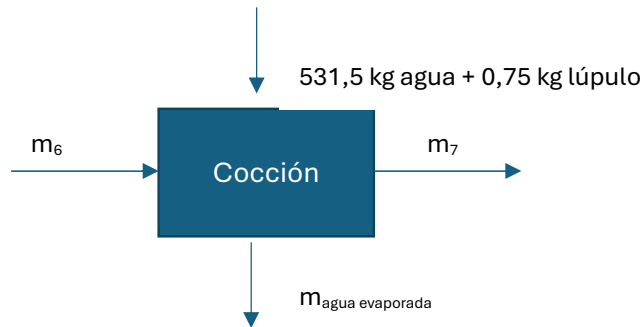


Figura 18. Balance de materia a la etapa de cocción.

$$m_7 = m_6 + (531,5\ kg\ agua + 0,75\ kg\ lúpulo) - m_{agua\ evaporada} \quad (Ec. 11)$$

- **Entrada:**
 - $m_6 = 80,86\ kg$ de malta seca molida.
 - 531,5 kg agua de cocción
 - 0,75 kg lúpulo
- **Salida:**
 - $m_{agua\ evaporada} = 531,5 \times 0,10 = 53,15\ kg$
 - $m_7 = 80,86 + 531,5 + 0,75 - 53,15 = 560\ kg$

6.3.2. Filtrado

Se agregan 50 kg de agua para la recuperación de azúcares solubles, y se pierde el bagazo conjunto a una porción de humedad, que denominaremos en su conjunto “corriente de rechazo” (Figura 19). Utilizando la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) hallaremos la masa de la corriente m_8 :

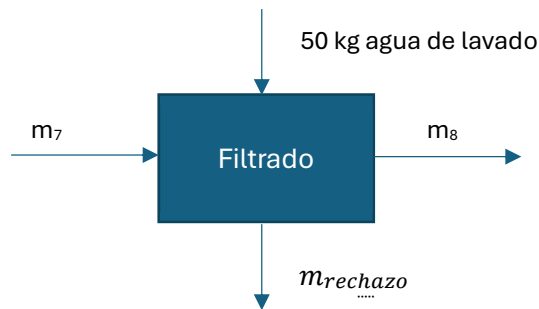


Figura 19. Balance de materia a la etapa de filtrado.

$$m_8 = m_7 + 50 \text{ kg agua de lavado} - m_{rechazo} \quad (\text{Ec. 12})$$

- **Entrada:**
 - $m_7 = 560 \text{ kg de mosto cocido.}$
 - $50 \text{ kg agua de lavado}$
- **Salida:**
 - $m_{recha} = (m_6 \times 0,4) + 5 + 0,75 = 38 \text{ kg}$
 - $m_8 = m_7 + 50 - m_{rechazo} = 571,9 \text{ kg}$

6.3.3. Fermentación

Durante la fermentación, se añaden 5,05 kg de levadura (calculado en el apartado 6.1.) de fermentación y se pierde 2% del mosto en forma de CO_2 (Figura 20). Utilizando la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) hallaremos la masa de la corriente m_9 :

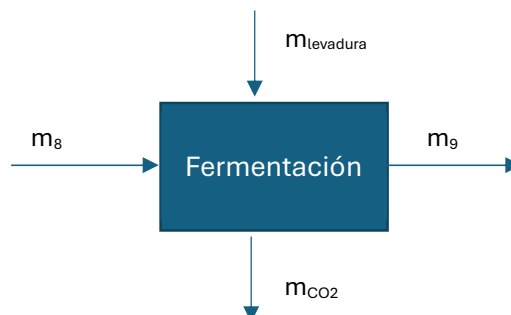


Figura 20. Balance de materia a la etapa de fermentación.

$$m_9 = m_8 + m_{levadura} - m_{CO} \quad (Ec. 13)$$

- **Entrada:**
 - $m_8 = 571,9 \text{ kg}$ de mosto sin fermentar.
 - $m_{levadura} = 5,05 \text{ kg}$ levadura
- **Salida:**
 - $m_{CO_2} = 0,002 \times m_8 = 0,4 \text{ kg}$
 - $m_9 = m_8 + m_{levadura} - m_{CO} = 565,5 \text{ kg}$

6.3.4. Maduración

En esta etapa no hay entradas, más que la propia m_9 (Figura 21). Además, se pierde 0,5% en sedimentos. Utilizando la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) hallaremos la masa de la corriente m_{10} :



Figura 21. Balance de materia a la etapa de maduración.

$$m_{10} = m_9 - m_{sedimentos} \quad (Ec. 14)$$

- **Entrada:**
 - $m_9 = 565,5 \text{ kg}$.
- **Salida:**
 - $m_{sedimentos} = m_9 \times 0,005 = 2,82 \text{ kg}$
 - $m_{10} = 562,7 \text{ kg}$

6.3.5. Envasado

Se pierde el 2% en derrames de envasado. En esta etapa se adiciona la levadura de fermentación en botella (0,5 g/L) y el azúcar para la gasificación (7 g/L) (Figura 22). Utilizando la ecuación del balance general de materia (Ec. 5) hallaremos la masa de la corriente m_{11} :

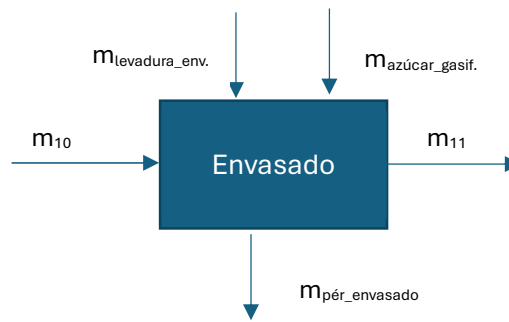


Figura 22. Balance de materia a la etapa de envasado.

$$m_{11} = m_{10} + m_{\text{azúcar}_{\text{gasif.}}} + m_{\text{levadura}_{\text{env.}}} - m_{\text{pér}_{\text{envasado}}} \quad (\text{Ec. 15})$$

- **Entrada:**
 - $m_{10} = 562,7 \text{ kg}$
 - $m_{\text{levadura}_{\text{env.}}} = 0,25 \text{ kg}$
 - $m_{\text{azúcar}_{\text{gasif.}}} = 3,94 \text{ kg}$
- **Salida:**
 - $m_{10} = 562,7 \text{ kg}$
 - $m_{\text{pér}_{\text{envasado}}} = m_9 \times 0,005 = 10,21 \text{ kg}$
 - $m_{11} = m_{10} + m_{\text{azúcar}_{\text{gasif.}}} + m_{\text{levadura}_{\text{env.}}} - m_{\text{pér}_{\text{envasado}}} = 555,6 \text{ kg}$

6.3.6. Fermentación en botella

En esta etapa ya está el producto terminado, por lo que la masa ya no varía. Siendo la masa del producto final igual a m_{11} .

6.3.7. Resumen del balance de materia

Tras la explicación de los balances de materia aplicados a cada una de las etapas, se adjuntan los resultados obtenidos con el programa EES en la Tabla 9. Además, en el ANEXO II se encuentra el programa de EES con las ecuaciones y las explicaciones de las cuentas llevadas a cabo.

Tabla 9. Resultados del balance de materia obtenidos con el programa EES.

Corriente	Descripción	Resultado masa (kg) volumen (L)
m1	Masa de cebada inicial con 12% de humedad	100,0
m2	Masa de cebada limpia después de eliminar impurezas	99,0
m3	Masa de cebada humedecida con 40% de humedad	130,2
m4	Masa de cebada germinada tras la germinación	125,0
m5	Masa de malta seca con 5% de humedad tras el secado	81,27
m6	Masa de malta molida tras la molienda	80,86
m7	Masa de mosto cocido tras la cocción	560
m8	Masa de mosto filtrado tras la filtración	571,9
m9	Masa de cerveza sin madurar tras la fermentación	565,5
m10	Masa de cerveza madurada tras la maduración	562,7
m11	Masa de cerveza envasada tras el embotellado	555,6
m_{final}	Masa de cerveza lista para distribución	555,6
v7	Volumen de mosto cocido tras la evaporación	478,4
v8	Volumen de mosto filtrado tras la filtración	523,4
v9	Volumen de cerveza sin madurar tras la fermentación	512,9
v10	Volumen de cerveza madurada tras la maduración	510,3
v11	Volumen de cerveza envasada tras el embotellado	500,1
v_{final}	Volumen de cerveza lista para distribución	500,1

6.4. Balance de energía en el proceso de producción de cerveza

El balance de energía es fundamental para determinar los requerimientos térmicos de cada una de las etapas del proceso productivo de la cerveza y con ello poder dimensionar los equipos necesarios. A continuación, se va a llevar a cabo el planteamiento y resolución del balance de energía, mediante el software *Engineering Equation Solver*. Se adjunta en el ANEXO II el programa utilizado para la resolución. Se ha considerado como base de cálculo la producción de un lote de 500 litros de cerveza y se han empleado las ecuaciones de transferencia de calor en cada etapa.

6.4.1. Datos preliminares

En primera instancia, se va a representar en un cronograma la sucesión de etapas con sus correspondientes tiempos y temperaturas que permitan llevar a cabo los cálculos pertinentes (Tabla 10).

Tabla 10. Cronograma de tiempos y temperaturas para la elaboración de cerveza.

Etapa	Subetapa	Temperatura (°C)	Duración
Remojo		15	45 h
Germinación		20	5 días
Secado tostado	<i>Pre-secado</i>	40	10 h
	<i>Secado</i>	75	5 h
	<i>Tostado</i>	90	2 h
Molienda		Ambiente	1 h
Cocción	<i>Maceración</i>	70	1,5 h
	<i>Cocción</i>	100	1,5 h
	<i>Enfriamiento</i>	10	1h
Fermentación		10	14 días
Maduración		4	6 semanas
Fermentación en botella		15	3 días

El circuito global va a dividirse en un circuito de calefacción, para incrementar y mantener la temperatura en las etapas de maceración y cocción; y un circuito de frío para mantener la temperatura de la fermentación. Para abastecer al tanque de cocción y al fermentador, se dispondrá de depósitos auxiliares de agua caliente sanitaria (ACS) (corriente m3w). Por otro lado, en el circuito de frío se incluirá un intercambiador de placas con agua de la red y agua glicolada.

6.4.1.1. Cálculo de calores específicos, C_p

En primer lugar, se debe conocer el calor específico (C_p) del mosto en las distintas fases del procesado. Para ello, siendo conocidos los grados Brix del mosto, se puede conocer mediante una ecuación simplificada (Ecuación 16) (Urrutia, 2004).

$$C_{p_{mosto}} \left(\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right) = (1 - 0,006 * \text{ } ^\circ Bx) \left(\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right) * \frac{4,18 \text{ kJ}}{kcal} \quad (Ec. 16)$$

Para calcular el calor específico (C_p) de la cerveza, se debe considerar la mezcla de agua y etanol en ponderada con sus fracciones másicas. Se utiliza la siguiente ecuación de mezcla ponderada:

$$C_{p_{cerveza}} = \frac{x_w C_{pw} + x_e C_{pe}}{x_w + x_e} \quad (Ec. 17)$$

Donde:

- $C_{pw} = 4,18 \text{ kJ}/(kg \text{ } ^\circ C) \rightarrow$ Calor específico del agua
- $C_{pe} = 2,44 \text{ kJ}/(kg \text{ } ^\circ C) \rightarrow$ Calor específico del etanol
- x_w y $x_e \rightarrow$ Fracciones másicas de agua y etanol en la cerveza

Para determinar x_w y x_e :

- Se parte del contenido alcohólico (ABV) de la cerveza
- Se convierte a fracción másica utilizando las densidades:
 - Densidad del agua (ρ_w) $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$
 - Densidad del etanol (ρ_e) $\approx 789 \text{ kg/m}^3$

La fracción másica de etanol, con un ABV del 5% se obtiene como:

$$x_e = \frac{ABV \cdot \rho_e}{ABV \cdot \rho_e + (1 - ABV) \cdot \rho_w} = 0,039$$

Por tanto, la fracción másica de agua es:

$$x_w = 1 - x_e = 0,961$$

Sustituyendo en la ecuación 17:

$$C_{p_{cerveza}} = \frac{x_w C_{pw} + x_e C_{pe}}{x_w + x_e} = 4,11 \left(\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right)$$

El calor específico de la malta varía según su contenido de humedad y composición, pero en general, se encuentra en un rango de 1,38 – 1,80 kJ/kg °C. Para un contenido de humedad típico en la malta (~4-6%), se suele usar un valor promedio de 1,55 kJ/kg °C (Bamforth, 2006).

6.4.1.2. Ecuaciones termodinámicas

Las ecuaciones del balance de energía se van a plantear de acuerdo con el primer principio de la termodinámica sobre la conservación de energía, distinguiendo entre calor sensible (Ecuación 17) y calor latente (Ecuación 18).

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 18})$$

$$Q = m \cdot \lambda_v \quad (\text{Ec. 19})$$

donde:

Q = Energía transferida [kJ]

m = Masa del producto en la etapa [kg]

C_p = Calor específico del material [kJ/kg·K]

ΔT = Cambio de temperatura en la etapa [°C]

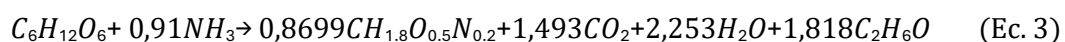
λ_v = Calor latente de vaporización [kJ/kg]

El calor sensible hace referencia a la cantidad de energía (kJ) cedida (signo negativo) o absorbida (signo positivo) en función de una variación de temperatura del sistema; y estará presente en las etapas en las que se requiere incremento (tanto positivo como negativo), así como mantenimiento de temperatura, que son secado-tostado, cocción y maduración. Mientras que el calor latente hace referencia a la energía cedida (signo negativo) o absorbida (signo positivo) como consecuencia de un cambio de estado de la materia. En este caso, en la etapa de cocción se produce la evaporación del mosto y se utilizará el calor latente de vaporización.

En el caso del ACS, se tiene en cuenta la temperatura del agua de la red en invierno de 15 °C como temperatura inicial, para considerar el caso más desfavorable.

6.4.1.3. Termodinámica de la reacción de fermentación

Durante la etapa de fermentación hay que considerar la entalpía de reacción, puesto que influirá en la energía necesaria para mantener la temperatura del fermentador. Para ello conviene recordar la reacción ajustada de fermentación (Ecuación 3), se va a utilizar en este apartado:



La fermentación alcohólica se produce como resultado de la actividad enzimática y del metabolismo celular. Desde el punto de vista energético, se trata de una reacción

exotérmica donde la energía para mantener unidos los átomos de los productos es menor que la de los reactivos, por lo que la energía sobrante se desprende en forma de calor y el calor de reacción (ΔH_{rxn}) es negativo (Ecuación 19).

$$\Delta H_{rxn} = \sum n\Delta h_{reactivos} - \sum n\Delta h_{productos} \quad (Ec. 20)$$

dónde n se corresponde con el número de moles.

El calor específico de reacción, Δh_{rxn} , es una propiedad de la materia. Su valor depende de los reactantes y productos que intervienen en la reacción, así como de la temperatura y presión de operación. Se va a emplear este método de cálculo atendiendo a reactantes combustibles y productos de combustión. Si el resultado es negativo, la reacción es exotérmica, cede calor al medio; y si es positiva, absorbe calor del medio. Teniendo en cuenta que es imposible tabular todos los posibles Δh_{rxn} , dadas la multitud de reacciones posibles, los valores de Δh_{rxn} se calculan a partir de los calores de combustión de los compuestos individuales involucrados en ella (Doran, 1995).

El *calor de combustión* (Δh_c) se define como el calor que interviene durante la reacción de una sustancia con oxígeno para dar lugar a productos oxidados como el CO₂ gas, H₂O líquida y N₂ gas. El *calor estándar de combustión*, Δh_c^0 , es el cambio de entalpía específica asociado con esta reacción en condiciones estándar (25°C y 1 atm). Por convenio, Δh_c^0 es cero para los productos de oxidación, es decir: CO₂ gas, H₂O líquida y N₂ gas, etc. Apareciendo tabulados los valores para para el resto de los compuestos en diferentes *Handbooks* como es el Handbook of Chemistry and Physics, 1992.

Los calores estándar de combustión se utilizan para calcular los calores estándar de reacción (ΔH°_{rxn}) para las reacciones que incluyen reactantes combustibles y productos de combustión (Ecuación 20):

$$\Delta H^{\circ}_{rxn} = \sum [n\Delta h_c^{\circ}]_{reactivos} - \sum [n\Delta h_c^{\circ}]_{productos} \quad (Ec. 21)$$

dónde n se corresponde con el número de moles.

Se han obtenido los valores de calor de combustión en condiciones estándar (Tabla 11) para los compuestos involucrados en la reacción de fermentación de la glucosa descrita (Handbook of Chemistry and Physics, 1992). Además, al desconocerse con exactitud la composición de la levadura concreta, se estimará el calor de combustión para levaduras considerando su valor promedio $-2,120 \cdot 10^4$ kJ/kg (Doran, 1995).

Tabla 11. Entalpías estándar de formación de los compuestos en la fermentación de la glucosa

Compuesto	Fórmula	$\Delta h_c^\circ \left(\frac{kJ}{mol}\right)$
Glucosa	$C_6H_{12}O_6$	-1273,3
Etanol	C_2H_5OH	-277,7
Dióxido de carbono	CO_2	-393,5
Agua	H_2O (líquido)	-285,8
Biomasa (levadura)	$CH_{1,8}O_{0,5}N_{0,2}$	$-5,55 \times 10^{-4}$

La Ecuación 20 desarrollada muestra la resolución de la entalpía o calor de reacción (Δh°_{rxn}):

$$\Delta H^\circ_{rxn} = -463,4 \text{ kJ/mol kJ}$$

A continuación, se detallan los balances de energía para cada una de las etapas del proceso.

6.4.2. Remojo de la cebada

En esta fase, la cebada se hidrata a una temperatura controlada de 15°C. Suponiendo que no hay pérdidas de energía en esta etapa, la temperatura inicial y final de la etapa son iguales y por tanto el calor necesario es de 0 kJ.

6.4.3. Germinación

Durante la germinación, la cebada húmeda se mantiene a 20°C en cámaras controladas. Se requiere energía para elevar la temperatura desde 15°C (temperatura del remojo) hasta 20°C.

$$Q_{germinación} = m_3 \times (T_{germinación} - T_{remojo}) = 1192 \text{ kJ} \quad (Ec. 22)$$

6.4.4. Secado y tostado

Esta fase se divide en tres etapas:

- Pre-secado (40°C)
- Secado (75°C)
- Tostado (90°C)

Por tanto, la energía necesaria en esta fase se calcularía como suma de requerida por cada una de las tres etapas individuales (Ecuación 25):

$$Q_{pre-secado} = m_4 \times Cp_{malta} \times (T_{pre-secado} - T_{germinación}) = 3107 \text{ kJ} \quad (Ec. 23)$$

$$Q_{secado} = m_4 \times Cp_{malta} \times (T_{secado} - T_{pre-secado}) = 5438 \text{ kJ} \quad (Ec. 24)$$

$$Q_{tostado} = m_4 \times Cp_{malta} \times (T_{tostado} - T_{secado}) = 2330 \text{ kJ} \quad (Ec. 25)$$

De forma que el calor total necesario para la fase de secado y tostado sería:

$$Q_{TOTAL_secado} = Q_{pre-secado} + Q_{secado} + Q_{tostado} = 10875 \text{ kJ} \quad (Ec. 26)$$

6.4.5. Cocción del mosto

La cocción consta de dos etapas:

- Maceración: se calienta el mosto a 70 °C.
- Cocción: se eleva la temperatura hasta 100° C para la extracción de compuestos aromáticos.

$$Q_{maceración} = (m_5 \times Cp_{malta} + 500 \text{ kg} \times Cp_{agua}) \times (T_{maceración} - T_{tostado}) = 123.495 \text{ kJ} \quad (Ec. 27)$$

$$Q_{cocción} = (m_5 \times Cp_{malta} + 500 \text{ kg} \times Cp_{agua}) \times (T_{maceración} - T_{tostado}) + Q_{evap.} = 6.7361 \text{ kJ} \quad (Ec. 28)$$

$$\text{donde } Q_{evap.} = m_{w,evap} \times \lambda_{w,evap.} \quad (Ec. 29)$$

De forma que el calor total en la cocción del mosto resulta:

$$Q_{TOTAL_cocción} = Q_{maceración} + Q_{cocción} = 190.856 \text{ kJ} \quad (Ec. 30)$$

La energía durante la cocción va a ser suministrada con gas butano. Se va a calcular el consumo de gas butano considerando su poder calorífico.

Para determinar la cantidad de gas butano utilizada, consideramos el poder calorífico (45.700 kJ/kg) y la densidad del butano (GLP) (0,023 kg/L):

$$V_{butano} = \frac{Q_{TOTAL_cocción} \times 1000}{PC_{butano} \times \rho_{butano}} = 181,3 \text{ L}$$

6.4.6. Enfriamiento del mosto

Después de la cocción, el mosto debe refrigerarse rápidamente a 10°C para proceder a la fermentación. En este caso la energía que es preciso eliminar del sistema se calcula mediante la ecuación 30:

$$Q_{enfriamiento} = m_7 \times Cp_{mosto} \times (T_{enfriamiento} - T_{cocción}) = -169.290 \text{ kJ} \quad (Ec. 31)$$

6.4.7. Fermentación y maduración

En primer lugar, se tiene en cuenta el calor total de la reacción de fermentación. Para ello el calor específico de reacción ($\Delta h^{\circ}rxn$) en kJ/kg, calculado anteriormente en el Apartado 6.4.1.3. se multiplicará por la masa de azúcares fermentables en el mosto antes de la fermentación (Ecuación 31).

$$Q_{Fermentación} = m_{Glucosa} * \Delta h^{\circ}rxn = -10.882 \text{ kJ} \quad (Ec. 32)$$

La cantidad de glucosa ($m_{Glucosa}$) presente en el mosto se calcula a partir de su concentración de glucosa (obtenida en el Apartado 6.2), según se recoge en la ecuación 32.

$$m_{Glucosa} = [Glucosa] * V_{LOTE} \quad (Ec. 33)$$

Es decir,

$$m_{Glucosa} = 86,2 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 500 \text{ L} = 43,1 \text{ kg de glucosa}$$

Siendo el calor que hay que eliminar del sistema para mantener la temperatura de la fermentación constante de:

$$Q_{Fermentación} = -10.882 \text{ kJ}$$

Finalmente hay que considerar que la cerveza madura a 4 °C. Por tanto, se debe enfriar la cerveza desde la temperatura de fermentación a la de maduración, siendo el calor que habría que eliminar en este caso:

$$Q_{maduración} = m_8 \times Cp_{cerveza} \times (T_{maduración} - T_{fermentación}) \quad (Ec. 34)$$

Es decir:

$$Q_{maduración} = -10.854 \text{ kJ}$$

El calor total del proceso fermentativo en su globalidad se obtiene de la ecuación (Ecuación 34):

$$Q_{\text{Fermentación TOTAL}} = Q_{\text{fermentación}} + Q_{\text{maduración}} \quad (\text{Ec. 35})$$

$$Q_{\text{Fermentación TOTAL}} = -10.882 \text{ kJ}$$

6.4.8. Fermentación en botella

Durante la fermentación en botella, se mantiene la cerveza a 15 °C para la generación de CO₂ natural.

$$\begin{aligned} Q_{\text{fermentación botella}} &= (m_{11} \cdot C_p(\text{agua})) \cdot (T_{\text{fermentación botella}} - T_{\text{maduración}}) \\ &= 20.691 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Ese calor debe retirarse para mantener la temperatura de fermentación en botella en los parámetros óptimos, pudiendo admitir pequeñas variaciones de temperatura. Como la fermentación en botella se llevará a cabo en el almacén de producto terminado, se instalará una bomba de frío (incluida en el presupuesto de reforma de la nave) para poder mantener constante la temperatura. Para que se disipe bien el calor de las botellas, se estibarán de manera separada.

6.4.9. Resumen del balance de energía

Para calcular el total de la energía que se necesita para el proceso, se deben sumar en valor absoluto las energías de cada una de las etapas, ya que hay etapas exotérmicas y endotérmicas. De esta manera, se sabe el total de energía necesaria para el proceso industrial.

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= |Q_{\text{remojo}}| + |Q_{\text{germinación}}| + |Q_{\text{total secado}}| + |Q_{\text{total cocción}}| + |Q_{\text{enfriamiento}}| \\ &\quad + |Q_{\text{maduración}}| + |Q_{\text{fermentación botella}}| + |Q_{\text{fermentación}}| \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total}} = 383.095 \text{ kJ}$$

Los resultados obtenidos del balance de energía se presentan en la siguiente tabla (Tabla 12):

Tabla 12. Resultados del balance de energía.

Proceso	Resultado (kJ)
Remojo	0
Germinación	1.192
Presecado	3.107
Secado	5.438
Tostado	2.330
Total_{secadotostado}	10.875

Maceracion	123.495
Coccion	67.361
Total_{coccion}	190.856
Enfriamiento	-169.290
Fermentación	-10.882
TOTAL	383.095

El cálculo de los requerimientos de potencia en cada etapa del proceso cervecero es fundamental para dimensionar correctamente los equipos y garantizar un funcionamiento eficiente. La potencia requerida en cada fase se obtiene a partir de la energía térmica necesaria para los cambios de temperatura y la duración de cada proceso.

La potencia (P) se calcula con la ecuación:

$$P = Q/t \quad (\text{Ec. 36})$$

donde:

- $P = \text{Potencia requerida (kW)}$
- $Q = \text{Energía térmica demandada en la etapa (kJ)}$
- $t = \text{Tiempo de la etapa (s)}$

En la Tabla 13 se presentan los requerimientos de potencia para cada fase del proceso cervecero, considerando los valores obtenidos en el balance de energía.

Tabla 13. Resultados de la potencia necesaria en cada una de las etapas

Proceso	Energía [kJ]	Tiempo [h]	Tiempo [s]	Potencia [kW]
Remojo	0	45	162000	0
Germinación	1.192	120	432000	0,0028
Pre-secado	3.107	10	36000	0,0863
Secado	5.438	5	18000	0,3021
Tostado	2.330	2	7200	0,3236
Total, secado-tostado	10.875	17	61200	0,1777
Maceración	123.495	1,5	5400	22,870
Cocción	67.361	1,5	5400	12,4743
Total, cocción	190.856	3	10800	17,683
Enfriamiento	-169.290	0,5	1800	-94,050
Fermentación	-10.882	336	1209600	-0,009

El balance de energía no solo permite determinar los requerimientos térmicos del proceso, sino también las demandas de potencia en cada etapa. La tabla anterior presenta la potencia calculada en cada fase, considerando los tiempos de operación y la energía térmica requerida.

Se observa que las mayores demandas de potencia se encuentran en la cocción del mosto y en la maceración, debido a los incrementos de temperatura necesarios. Por otro lado, los procesos de fermentación y maduración tienen valores negativos, lo que indica que son procesos exotérmicos que requieren disipación de calor en lugar de aporte energético.

7. Elección de los equipos

La selección de la maquinaria en el proceso de elaboración de cerveza no es un aspecto aislado, sino que debe basarse en un análisis detallado de los balances de materia y energía. Estos balances proporcionan información clave sobre los insumos necesarios, las transformaciones que experimentan los materiales y la demanda energética de cada etapa del proceso.

El balance de materia nos permite dimensionar los equipos en función de los volúmenes de materia prima, las pérdidas durante el proceso y la cantidad de producto final esperado. De este modo, se pueden determinar capacidades adecuadas para silos de almacenamiento, tinas de maceración, calderas de cocción y fermentadores.

Por otro lado, el balance de energía es fundamental para seleccionar sistemas de calentamiento, enfriamiento y transferencia térmica con la eficiencia adecuada. La cantidad de energía necesaria en etapas como la maceración, cocción y enfriamiento influye directamente en la elección de calderas, intercambiadores de calor y sistemas de refrigeración.

Así, una correcta elección de la maquinaria no solo garantiza un proceso eficiente y controlado, sino que también optimiza los costos operativos y minimiza pérdidas de materia y energía. En los siguientes apartados se detallará el equipo más adecuado para cada etapa del proceso cervecero.

7.1. Malteado

El malteado es el primer paso en la elaboración de cerveza artesanal y tiene como objetivo convertir los granos de cebada en malta. Este proceso consta de cinco etapas con equipos diferentes. A continuación, se describen los equipos seleccionados para cada una de ellas.

7.1.1. Limpieza de la cebada

Limpiadora de cebada: Se utiliza para eliminar impurezas, como piedras, polvo y otros restos de materia vegetal no deseada antes del remojo. Para este fin, se ha seleccionado la limpiadora de cereal ALS-3 GEN-3 de la marca Alistan (Figura 23).

Este equipo ha sido diseñado para una pequeña explotación ganadera. Su elección se justifica por las necesidades de la industria cervecera en cuestión, donde no se requieren grandes volúmenes de limpieza y separación. Se ha optado por uno de los equipos de menor tamaño disponibles en el mercado, adecuado a la escala de producción proyectada (Tabla 14).

La limpiadora de cereal tiene un precio de 1790 € en la tienda Alistan Agro.

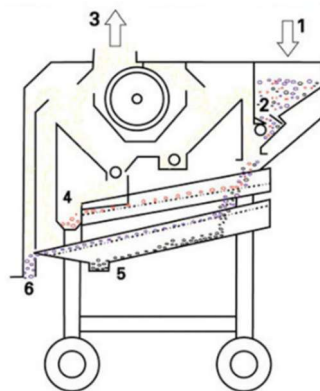


Figura 23. Limpiadora de cereal ALS-3 GEN-3. (1-Entrada de grano; 2-Regulación de caída de grano a criba superior; 3-Salida de impurezas finas y polvo; 4-Cuerpos de mayor tamaño que el grano; 5-Granos mermados o partidos; 6-Grano limpio).

Tabla 14. Especificaciones de la limpiadora de cereal ALS-3 GEN-3

Característica	Valor
Limpieza y separación	3 t/h
Calibración	1,5 t/h
Consumo eléctrico	0,55KW 220V 50HZ
Peso, kg	120
Dimensiones, m (long. x ancho x altura)	1,84 x 0,65 x 1,9

7.1.2. Remojo

Para esta operación se elige un tanque de remojo con la siguiente descripción: Depósito motorizado de acero inoxidable cónico 10° de 600 L. Este tanque tiene dos desagües, por lo que permitirá ubicar en uno de ellos la entrada de aire para asegurar el oxígeno necesario durante la hidratación (Figura 24).

El tanque de remojo tiene un precio de 1730€ en la tienda Polsinelli.



Figura 24. Imagen del tanque de remojo de 600 L.

7.1.3. Germinación

Esta etapa tendrá lugar en un horno industrial con bandejas de germinación, *se trata del* horno Industrial Unox Cheflux XV1093. El horno tiene un coste de 10.410,71€ en la tienda Pepebar. Este equipo consta de unas bandejas que se guardarán dentro del horno en el que posteriormente se secará la cebada, ya que cuenta con sistema de ventilación y de regulación de humedad para mantener el ambiente en condiciones constantes. Además, permite mantener la temperatura a partir de los 20 °C.

Bandejas de germinación: Superficies planas donde los granos húmedos se extienden y se airean para permitir la germinación controlada. Las bandejas están agujereadas y están equipadas con sistemas de ventilación para mantener la temperatura y humedad adecuadas. Estas bandejas tienen una superficie de 0,24m² (60cm x 40cm) y admiten un espesor de capa de 5 cm. Por lo tanto, en cada bandeja caben 0,012 m³ de cebada hidratada. Dentro del horno caben 20 bandejas, por lo que se tiene una capacidad para secar 0,24 m³ de cebada tras su germinación. La cebada tiene una densidad entre 610 y 730 kg/m³, por lo que asumiremos una densidad de 670 kg/m³ (Mironescu, 2015). Es decir, se tiene una capacidad de tratamiento de unos 160 kg de cebada germinada. Esto sería suficiente para procesar la cebada empleada en la preparación de un lote de cerveza ($m_4 = 125,1 \text{ kg}$, véase el Apartado 6.3.1.3.).



Figura 25. Horno industrial Unox Cheflux XV1093.

Las especificaciones del equipo son (Tabla 15):

Tabla 15. Características del horno de germinado, secado y tostado

Característica	Valor
Nº bandejas	20
Nº motores	5
Potencia eléctrica, kW	27,7
Peso, kg	190
Tª mínima, °C	30
Tª máxima, °C	260
Tipo de conexión	Trifásica

7.1.4. Secado y tostado

Se utilizará el mismo horno seleccionado para la geminación, ya que permite variar los parámetros de procesado (Figura 25).

7.1.5. Molienda

Para este proceso se utilizará el molino de martillos MH-B - HAMMER MILL (Figura 26) y tiene las siguientes características (Tabla 16):



Figura 26. Molino de martillos MH-B - HAMMER MILL.

Tabla 16. Características del molino de martillos MH-B - HAMMER MILL (Bühler Group).

Característica	Valor
Potencia requerida	4KW trifásica 380V
Capacidad 0,8mm, kg/h	80
Capacidad 1,6mm, kg/h	200
Capacidad 8mm, kg/h	450
Largo, ancho, altura, mm	755, 470, 1146
Peso neto (kg)	85
Diámetro del rotor, mm	225
RPM	5000
Velocidad máxima, m/s	58

El molino de martillos tiene un precio de 3.400 € en Bühler Group.

7.2. Cocción

Para la cocción del mosto se ha seleccionado una olla de acero inoxidable con una capacidad de 660 L, adecuada para manejar el volumen de mosto determinado en el balance de materia. El material de la olla es clave, ya que el acero inoxidable 18/10 (AISI 304) es resistente a la corrosión, fácil de limpiar y no altera las propiedades organolépticas del producto.

Este modelo está equipado de serie con una tapa de acero inoxidable con pomo, dos asas ergonómicas que facilitan el desplazamiento de la olla de acero inoxidable de 660 litros y

un racor soldado de acero inoxidable DIN 25 F para conectar una válvula de acero inoxidable del mismo diámetro. También incorpora un termómetro analógico profesional con tapa protectora. Con un diámetro de 1025 mm y una altura de 800 mm, la olla cervecera de 660 L se adapta a cualquier espacio de la cervecería (Figura 27).

La olla de cocción tiene un precio de 1.680 € en Polsinelli.



Figura 27. Olla de 660 L de acero inoxidable DIN 25 F para la cocción del mosto.

La fuente de calor elegida es un quemador de gas butano, que permite alcanzar y mantener las temperaturas necesarias para la isomerización del lúpulo y la eliminación de microorganismos indeseados. Se ha optado por el gas butano debido a su alta eficiencia energética y a su facilidad de control, lo que permite realizar ajustes precisos en la temperatura del mosto.

7.3. Filtrado

En la etapa de filtrado, es necesario separar el bagazo del mosto líquido. Para facilitar este proceso, se ha seleccionado una bomba de trasiego, diseñada para mover líquidos sin dañar su composición. Esta bomba permite el transporte del mosto desde la olla de cocción hasta el fermentador, evitando la oxidación y reduciendo pérdidas de volumen.

La electrobomba auto-cebante Flexi 30 de acero inoxidable Aisi 304 con impulsor de neopreno es la solución indispensable para trasvasar diversos tipos de líquidos alimentarios. De tamaño compacto, pero con una estructura robusta y manejable, la Flexi 30 está equipada con un motor monofásico de 1,2 Hp a 900 rpm con un caudal de 100 L/min (Figura 28).

Esta electrobomba tiene un precio de 740 € en la tienda Polsinelli.



Figura 28. Electroboomba autocebante Flexi 30.

7.4. Enfriado del mosto

Una vez conocido el calor que debe ser retirado del mosto para su enfriamiento (169.290 kJ, Apartado 6.1.5), se dimensiona el intercambiador de calor de placas necesario para llevar a cabo dicha transferencia térmica, empleando agua glicolada al 30 % como fluido refrigerante, a una temperatura de entrada de 5°C. Esta corriente procede de un sistema de frío que se detallará en un apartado posterior.

Parámetros del cálculo

- **Calor por disipar:**

$$Q = 169.290 \text{ kJ} = 169,29 \text{ MJ}$$

- **Coefficiente global de transferencia de calor:**

$$U = 2,5 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- **Configuración:** Contracorriente (mayor eficiencia térmica)

- **Temperaturas:**

- Mosto (fluido caliente): Entrada: 100°C - Salida: 10°C
- Agua glicolada (fluido frío): Entrada: 5°C - Salida: 50°C

- **Diferencia de temperatura logarítmica media (ΔT_{LM})**

$$\Delta T_{ii} = T_{cs} - T_{fe} = 100 - 50 = 50 \text{ °C}$$

$$\Delta T_i = T_{ce} - T_{fs} = 10 - 5 = 5 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_{ii} - \Delta T_i}{\ln \frac{\Delta T_{ii}}{\Delta T_i}} = \frac{50 - 5}{\ln \left(\frac{50}{5} \right)} = 19,56 \text{ °C}$$

- **Potencia térmica media intercambiada**

Se calcula la potencia térmica para enfriar el mosto en 30 minutos

$$Q' = \frac{169.290 \text{ kJ}}{1800 \text{ s}} = 94,05 \text{ kW}$$

Área de intercambio necesaria

$$Q' = U \cdot A \cdot \Delta T_{LM} \Rightarrow A = \frac{Q'}{U \cdot \Delta T_{LM}} = \frac{94,05}{2,5 \cdot 19,56} = 1,92 \text{ m}^2$$

Selección del intercambiador

Tabla 17. Parámetros para el intercambiador de placas

\dot{Q} (kW)	ΔT_{LM} (°C)	U (kW/m ² °C)	A (m ²)
94,05	19,56	2,5	1,92

Conociendo los parámetros de la Tabla 17, se seleccionan los intercambiadores del catálogo de Sedical (2023) que cumplan los requisitos. Se propone el uso de un intercambiador de calor de placas soldadas. En concreto, dentro del catálogo de Sedical, se ha seleccionado el modelo “LUNA”, un equipo apto para trabajar en sistemas con mayores requisitos sanitarios y de materiales inoxidables.

El número de placas se va a calcular a partir del área útil de cada una (A x B) dividiéndola por el área total necesaria (Figuras 29 y Tabla 17).

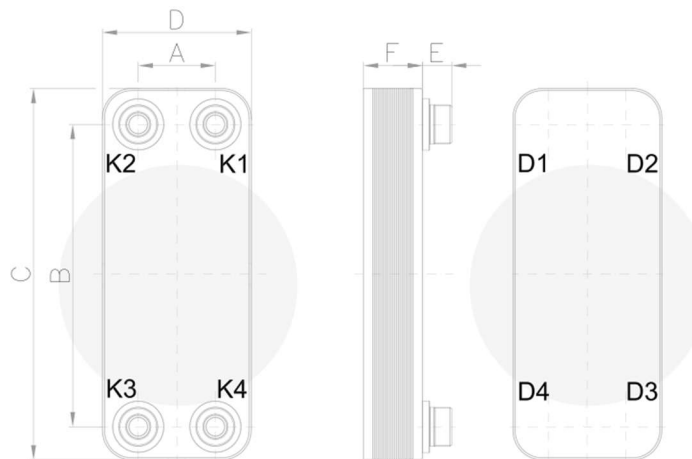


Figura 29. Representación del intercambiador de placas (Fuente: Sedical).

Tabla 18. Características de los diversos modelos de intercambiadores (Fuente: Sedical).

Tipo	Dimensiones [mm]						Núm. máx. de placas	Peso
	A	B	C	D	E	F		kg
SELA14LN	42	164	203	81	16	9 + 2,3 × NP	60	0,6 + 0,054 × NP
SELA22LN	42	260	299	81	16	9 + 2,3 × NP	60	0,8 + 0,075 × NP
SELA34LN	42	432	471	81	16	9 + 2,3 × NP	60	1,2 + 0,112 × NP
SELB31LN	68	232	286	123	28	10 + 2,35 × NP	150	1,6 + 0,126 × NP
SELB47LN	68	360	417	123	28	10 + 2,35 × NP	150	2,2 + 0,174 × NP
SELB60LN	68	480	538	123	28	10 + 2,35 × NP	150	2,7 + 0,219 × NP
SELM110LN	91	520	619	190	48	10 + 2,6 × NP	180	14,68 + 0,864 × NP
SELC110LN	170	378	466	258	28; 100	11 + 2,4 × NP	180	9,1 + 0,454 × NP
SELC170LN	170	600	688	258	28; 100	11 + 2,4 × NP	180	11,9 + 0,642 × NP
SELD235LN	204	682	788	310	100	13 + 2,5 × NP	160	40,8 + 0,049 × NP

Así, en la Tabla 19 se muestran los cálculos. El seleccionado ha sido el modelo SELA14LN, por su ligereza aun siendo el que mayor número de placas requiera (10 placas).

Tabla 19. Cálculo del número de placas (elaboración propia).

A (mm ²)	B (mm ²)	A*B (m ²)	At (m ²)	N
42	164	0,206	1,92	9,3
42	260	0,302	1,92	6,4
42	432	0,474	1,92	4,1
68	232	0,3	1,92	6,4
68	360	0,428	1,92	4,5
68	480	0,548	1,92	3,5

El precio de este intercambiador de calor en Sedical es de 2.300€.

7.5. Fermentación

Para la fermentación de la cerveza, se ha seleccionado un fermentador de acero inoxidable Aisi 304, ya que este material ofrece ventajas como resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y estabilidad térmica. El fermentador cuenta con un *airlock* o trampa de aire, que permite la salida del CO₂ generado durante la fermentación sin dejar que entre oxígeno ni contaminantes.

En concreto se ha seleccionado 2 fermentadores iguales de 380 L, de forma que cada lote se dividirá en dos permitiendo así disponer de un margen suficiente de volumen para alojar la formación de espuma durante la fermentación.

Este fermentador tiene un precio de 330€ en la tienda Polsinelli. La compra de los dos fermentadores ascendería a 660€.



Figura 30. Fermentador inox 380 L.

7.6. Maduración

La maduración de la cerveza requiere un almacenamiento controlado para estabilizar los sabores y clarificar el producto. Se ha optado por un fermentador secundario de acero inoxidable, similar al utilizado en la fermentación, pero con una válvula de purga para la eliminación de sedimentos y un sistema de control de temperatura para asegurar condiciones óptimas. Se ha escogido un depósito de las mismas características que el empleado para el remojo (Figura 24).

Este equipo permite que la cerveza repose sin presencia de levaduras en suspensión, mejorando la claridad y afinando los perfiles aromáticos antes del embotellado.

Tiene un precio de 1.730 € en la tienda Polsinelli.

7.7. Embotellado y fermentación en botella

Para la fase final del proceso se ha seleccionado la máquina de llenado ENOLMASTER. Es una herramienta semiautomática y profesional diseñada para empresas y particulares para embotellar cerveza eliminando los problemas de espuma durante el llenado. Se trata de una máquina de llenado diseñada para manipular líquidos con un contenido de alcohol de hasta el 20%, adecuada para el llenado de botellas y frascos de vidrio. La estructura, enteramente de acero inoxidable, garantiza la estabilidad y la resistencia del producto, facilitando también su limpieza (Figura 31).

La embotelladora profesional semiautomática ENOLMASTER está equipada con un sistema de succión al vacío, especialmente diseñado para procesar los líquidos

alimentarios de la mejor manera posible: el producto se embotella de hecho de forma natural gracias al vacío artificial que se crea en la botella, lo que ayuda a mantener intactas las características organolépticas. La velocidad es de 600 botellas por hora. Es posible configurar la llenadora ENOLMASTER para que deje de verter una vez que alcance un determinado nivel en la botella.

Tiene un precio de 1.890 € en la tienda Polsinelli.



Figura 31. Llenadora ENOLMASTER.

7.8. Taponadora

Para cerrar herméticamente las botellas va a emplearse la taponadora manual de columna metálica (acero inoxidable AISI 304), que se puede adaptar a diferentes alturas de botella y tamaños de corona (Figura 32).



Figura 32. Taponadora manual.

Este equipo se adquiere en la página web “El cocinista” y tiene un coste de 38,12€.

7.9. Etiquetadora

Para el etiquetado va a emplearse una etiquetadora manual (Figura 33), con un coste de 360€, en el proveedor “Prodel Agrícola”.



Figura 33. Etiquetadora manual Flexabeller

7.10. Materiales auxiliares

Los envases y empaquetado (botellas, tapas, etiquetas y cajas) provienen de proveedores del sector cervecero (Ceramic Bottle Suppliers, 2025), tomando en cuenta un año de producción:

- *Botellas:* Botellas de 500 mL, 0,20 €/unidad. Con una producción de 6500 L/año, se estima necesarias 13.000 botellas.
- *Chapas:* 0,02 €/unidad. Con una producción de 6500 L/año, se estima necesarias 13.000 chapas.
- *Etiquetas:* 0,01 €/unidad. Con una producción de 6500 L/año, se estima necesarias 13.000 etiquetas.
- *Cajas:* De 6 unidades, 0,10 €/unidad. Con una producción de 6500 L/año, se estima necesarias 2167 cajas.
- *Pallets:* Con 30 pallets sería suficiente para abastecer el reparto, ya que serían devueltos a la nave una vez descargados.

Los gastos de los materiales auxiliares están contemplados en los gastos variables mensuales.

7.11. Coste total de adquisición de los equipos

El coste total de los equipos asciende a 26.728,83€. Se analizarán los costes más adelante en el apartado de evaluación económica.

Tabla 20. Resumen de la selección de los equipos, sus precios y proveedor.

Equipo	Precio (€)	Tienda
Limpiadora de cereal ALS-3 GEN-3	1.790,00	Alistan Agro
Tanque de remojo inox 600L	1.730,00	Polsinelli
Horno industrial Unox Cheflux XV1093	10.410,71	Pepebar
Molino de martillos MH-B	3.400,00	Bühler Group
Olla de cocción inox 660L	1.680,00	Polsinelli
Quemador butano	<i>Incluido en la instalación</i>	
Bomba de trasiego Flexi 30	740,00	Polsinelli
Intercambiador de placas SELA14LN	2.300,00	Sedical
Fermentador inox 380L (x2)	660,00	Polsinelli
Tanque de remojo inox 600L	1.730,00	Polsinelli
Embotelladora Enolmaster	1.890,00	Polsinelli
Taponadora manual inox	38,12	El Cocinista
Etiquetadora manual	360,00	Prodel Agrícola
TOTAL	26.728,83	

8. Distribución en planta

8.1. Planificación temporal de la carga de trabajo y control del proceso

La fábrica cuenta con una capacidad de operación anual de 250 días, de lunes a viernes eliminando los festivos. Se establecen laborables 21 días al mes tras excluir del mes completo los días que son fiesta nacional, fiesta local y días inhábiles de la Comunidad Autónoma de Aragón. No será necesario más de un turno de 8 horas, estableciendo un horario de 7 a 15 h de lunes a viernes.

Se trabajará de forma simultánea en la producción, de manera que mientras un lote esté fermentando, se esté malteando la cebada del siguiente lote (como se indica en el diagrama de Gantt más adelante). La preparación entre ellos se realiza con 20 días de margen, de este modo, se evitan solapamientos en la producción. El proceso está compuesto por etapas que se caracteriza por una carga de trabajo desigual, ya que, durante los tiempos de fermentación y maduración (etapas que mayor tiempo consumen) el trabajo se caracteriza básicamente por controles rutinarios in situ de corta duración. Sin embargo, los días de embotellado y taponado, así como durante las etapas de preparación del mosto y limpieza de los tanques, depósitos y conductos, se requiere una mayor dedicación de tiempo por parte del personal de planta.

8.2. Planificación temporal y control del proceso

8.2.1. Diagrama de Gantt

Para optimizar la producción de cada lote de cerveza, se establece una planificación detallada de las etapas del proceso. A continuación, se presenta el diagrama de Gantt para la elaboración de dos lotes:

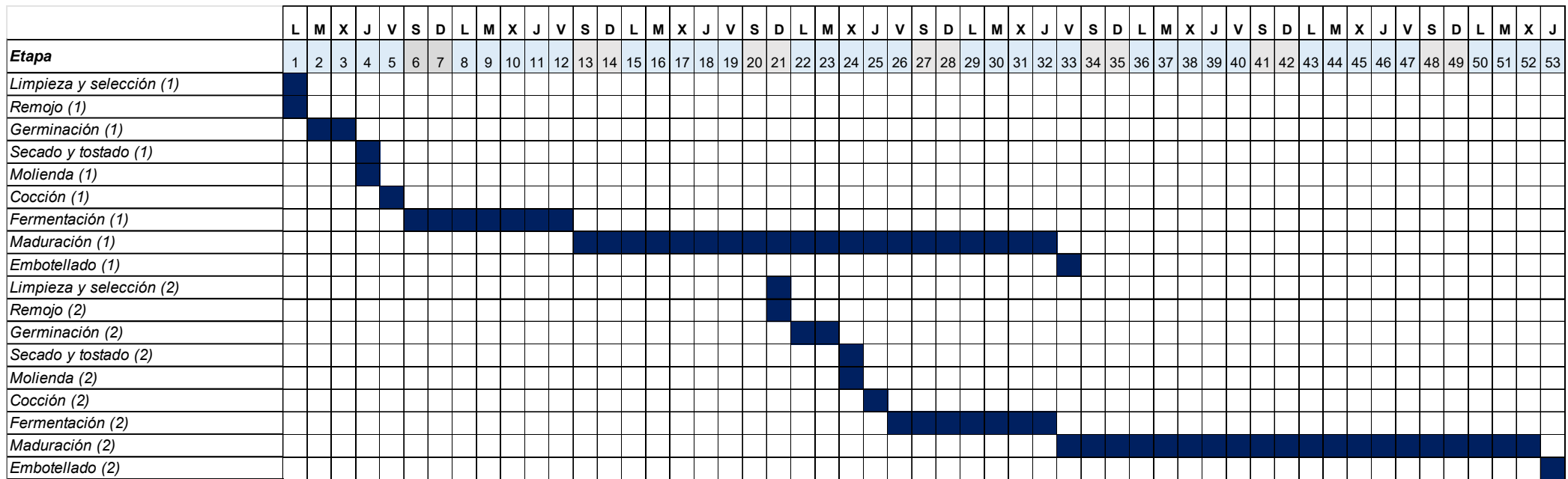


Figura 34. Diagrama de Gantt para el proceso de producción de dos lotes de cerveza artesanal.

Tiempo total estimado desde el inicio hasta la comercialización: 10 semanas

La capacidad productiva de la cervecería se ha estimado en función del tiempo necesario para completar cada lote. Teniendo en cuenta que el proceso de elaboración de cerveza artesanal, desde la recepción de materias primas hasta la fermentación en botella, requiere aproximadamente 53 días para la producción simultánea de dos lotes, se establece un ciclo productivo de 26,5 días por lote.

A partir de este dato, y considerando que un año tiene 365 días, se calcula la capacidad máxima de producción anual como:

$$\frac{365}{26,5} = 13,77 \text{ lotes anuales}$$

Por tanto, la cervecería puede realizar hasta 13 lotes completos al año, lo que representa una producción estimada de:

$$13 \frac{\text{lotes}}{\text{año}} \times \frac{500L}{\text{lote}} = 6500L \text{ anuales}$$

Esta planificación es compatible con una producción artesanal a pequeña escala, permitiendo garantizar el control de calidad en todas las etapas del proceso y optimizar el uso de los equipos, que están dimensionados para la elaboración de 500 litros por lote. Además, el hecho de producir dos lotes en paralelo durante cada ciclo contribuye a mejorar la eficiencia del sistema y aprovechar al máximo los recursos disponibles.

Otro aspecto clave del proceso es la distribución equilibrada de las actividades en el tiempo, evitando picos de producción difíciles de gestionar. Además, el diseño de la planificación permite responder a aumentos en la demanda con ajustes en la producción elaborando lotes de malteado a la vez que se va fermentando el lote anterior para poder asegurar así la capacidad de crecimiento del negocio sin afectar los estándares de calidad.

En conclusión, el análisis del diagrama de Gantt confirma que el proceso productivo está correctamente estructurado para alcanzar la demanda estimada sin sobrecargar los recursos ni comprometer la calidad de la cerveza. La estrategia de producción en lotes de 500 litros garantiza la frescura del producto, optimiza la gestión de inventario y permite una adaptación flexible a las necesidades del mercado.

8.3. Distribución en planta

La distribución en planta es un aspecto crítico en el diseño y la operación de una cervecería, ya que determina cómo fluirán las actividades y los procesos dentro del espacio disponible. Una distribución bien planificada maximiza la eficiencia operativa, optimiza el uso del espacio y mejora la seguridad del personal. De acuerdo con estudios sobre diseño de instalaciones, una distribución adecuada debe considerar la secuencia de operaciones, el espacio requerido para cada actividad y las necesidades específicas de almacenamiento y manipulación de productos (Tanchoco, 2017).

8.3.1. Normativa alimentaria aplicada

- *Reglamento (CE) 853/2004 sobre higiene de los productos alimenticios:*
 - Separación entre áreas de materia prima y producto final.
 - Control de accesos mediante vestuario obligatorio.
 - Eliminación eficiente de residuos y limpieza de equipos.
- *Reglamento (UE) 1169/2011 sobre información alimentaria:*
 - Correcto etiquetado y trazabilidad de los productos en la fase de almacenamiento y distribución.

Con este diseño, se garantiza un flujo de producción seguro y eficiente, cumpliendo con la normativa y optimizando la operatividad de la cervecería.

8.3.2. Identificación de zonas y justificación del espacio disponible

Antes de proceder con el diseño del *lay-out*, es imprescindible identificar y definir las distintas zonas que compondrán la industria, así como estimar el espacio necesario para cada una de ellas. Esto permitirá justificar que todas las áreas operativas caben adecuadamente dentro de la nave industrial disponible, cuya superficie es de 199 m².

La distribución funcional de la industria se organiza en las siguientes zonas:

- *Almacén de materia prima (zona cerrada)*
- *Selección y limpieza de cereal*
- *Remojo*
- *Germinado, secado y tostado*
- *Molienda*
- *Cocción*
- *Filtrado*
- *Maduración*
- *Embotellado*
- *Etiquetado*
- *Almacén de producto final (zona cerrada)*
- *Vestuarios (zona cerrada)*

Las zonas 1, 11 y 12 estarán físicamente separadas del resto mediante paredes, conformando espacios cerrados. Por su naturaleza, requieren aislamiento del entorno productivo por razones de higiene, almacenamiento seguro y bienestar del personal.

Las zonas 2 a 10 conforman la zona productiva, que estará organizada en un único espacio abierto, con las áreas delimitadas por la disposición de los equipos específicos que intervienen en cada etapa del proceso. Esta distribución facilita un flujo de trabajo lineal y eficiente, optimizando el uso del espacio.

Dado que se dispone ya de las dimensiones concretas de los equipos necesarios para cada fase, se puede asegurar que la superficie total de la nave es suficiente para albergar todas las zonas descritas, permitiendo un funcionamiento operativo, ordenado y conforme a los requisitos técnicos e higiénico-sanitarios. En el apartado siguiente se presentará el *lay-out* detallado que refleja esta organización.

8.3.3. *Lay-out*

El diseño del *lay-out* de la planta cervecera se ha planteado en forma de U (Figura 35), siguiendo las recomendaciones establecidas en la normativa aplicable a industrias alimentarias, que sugieren evitar cruces de flujo entre materia prima, producto en proceso y producto final para minimizar riesgos de contaminación y mejorar la eficiencia del proceso. En particular, el Reglamento (CE) 852/2004 sobre higiene de los productos alimenticios establece que las instalaciones deben estar diseñadas de manera que permitan una producción ordenada, evitando contaminaciones cruzadas en cualquier fase de la producción.

La forma en U permite:

- Un flujo continuo y lógico de las materias primas, desde la recepción hasta el envasado del producto final.
- Separación clara de áreas: se evitan interferencias entre zonas sucias (recepción y procesamiento inicial) y zonas limpias (fermentación, maduración y envasado).
- Minimización de desplazamientos: tanto del personal como de los materiales, reduciendo tiempos de producción y aumentando la eficiencia.
- Cumplimiento de la normativa de seguridad e higiene alimentaria, al evitar posibles contaminaciones cruzadas.

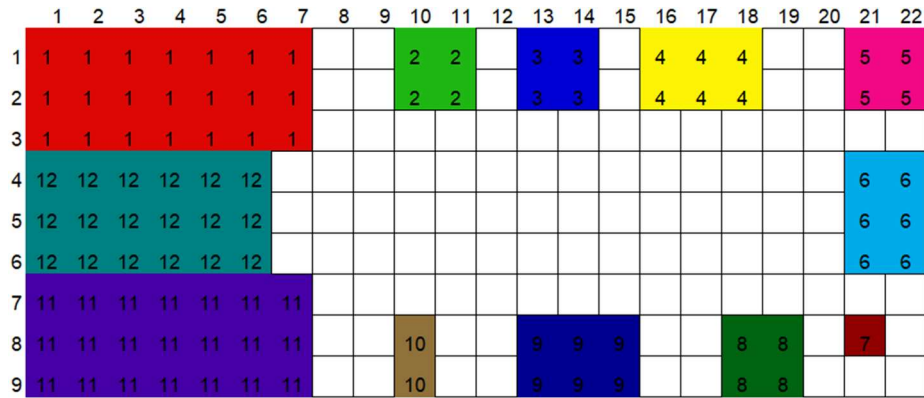


Figura 35. Disposición del proceso (1. Almacén materia prima, 2. Selección y limpieza de cereal, 3. Remojo, 4. Germinado, secado y tostado, 5. Molienda, 6. Cocción, 7. Filtrado, 8. Maduración, 9. Embotellado, 10. Etiquetado, 11. Almacén producto final, 12. Vestuario) (Elaboración propia)

Para garantizar la óptima disposición de los equipos e instalaciones, se ha utilizado la macro *Lay-out* en Microsoft Excel, una herramienta empleada en ingeniería de procesos para evaluar distintas configuraciones espaciales con el objetivo de minimizar recorridos y mejorar la ergonomía en el flujo de trabajo. Al realizar el análisis con esta macro, se comprobó que la distribución inicial en forma de U era la óptima, ya que no se identificaron formas de mejorar la disposición sin generar interferencias en el proceso (Figura 36).

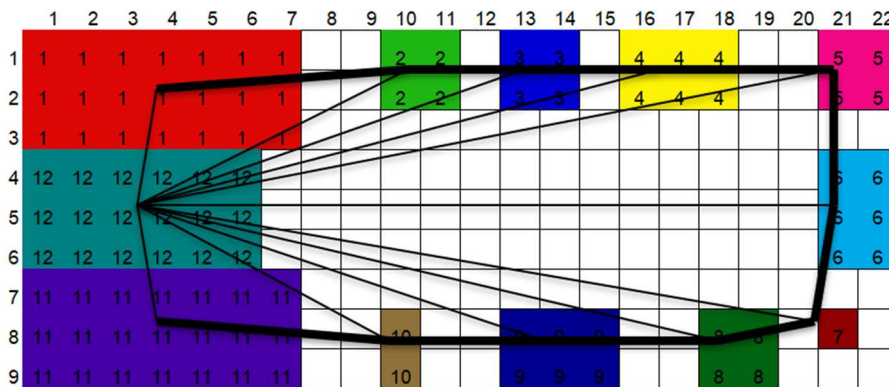


Figura 36. Disposición del proceso con los flujos del personal. (Elaboración propia)

8.3.4. Flujo del personal y normativa de Seguridad Alimentaria

- *Ingreso controlado:* Todo el personal debe acceder a la zona de producción a través del vestuario, donde se cambia de ropa, evitando la contaminación con prendas del exterior. Esta medida responde a la normativa de higiene alimentaria (Reglamento (CE) 852/2004), asegurando que solo accedan operarios con indumentaria adecuada.

- *Espacio de circulación:* Se ha dejado una zona central libre para permitir el movimiento eficiente de operarios y materiales sin interferencias en el proceso productivo.
- *Evita cruces de flujo:* La disposición de los equipos evita intersecciones entre materia prima, producto en proceso y producto final, minimizando el riesgo de contaminación cruzada.

8.3.5. Flujo del producto

El flujo del producto sigue una secuencia lógica, sin retrocesos ni cruces entre etapas, asegurando la eficiencia del proceso (Figura 37):

- *Flecha naranja:* Indica el flujo de materia prima, que comienza en el almacén de materia prima y pasa por la selección y el remojo.
- *Flechas rojas:* Representan el flujo del producto intermedio, avanzando a través del germinado, secado, tostado, molienda, cocción, fermentación y maduración.
- *Flecha verde:* Señala el flujo del producto final, desde el embotellado hasta el almacén de producto terminado.

Además, las etapas que requieren calor están marcadas en rojo, indicando puntos donde es necesario aplicar medidas de seguridad térmica y energética.

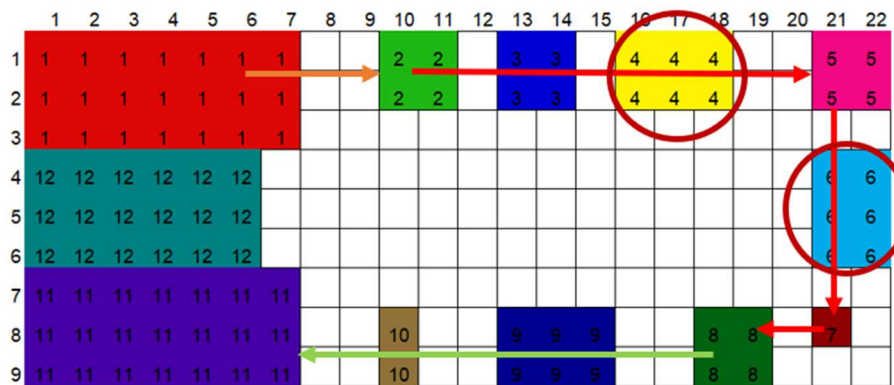
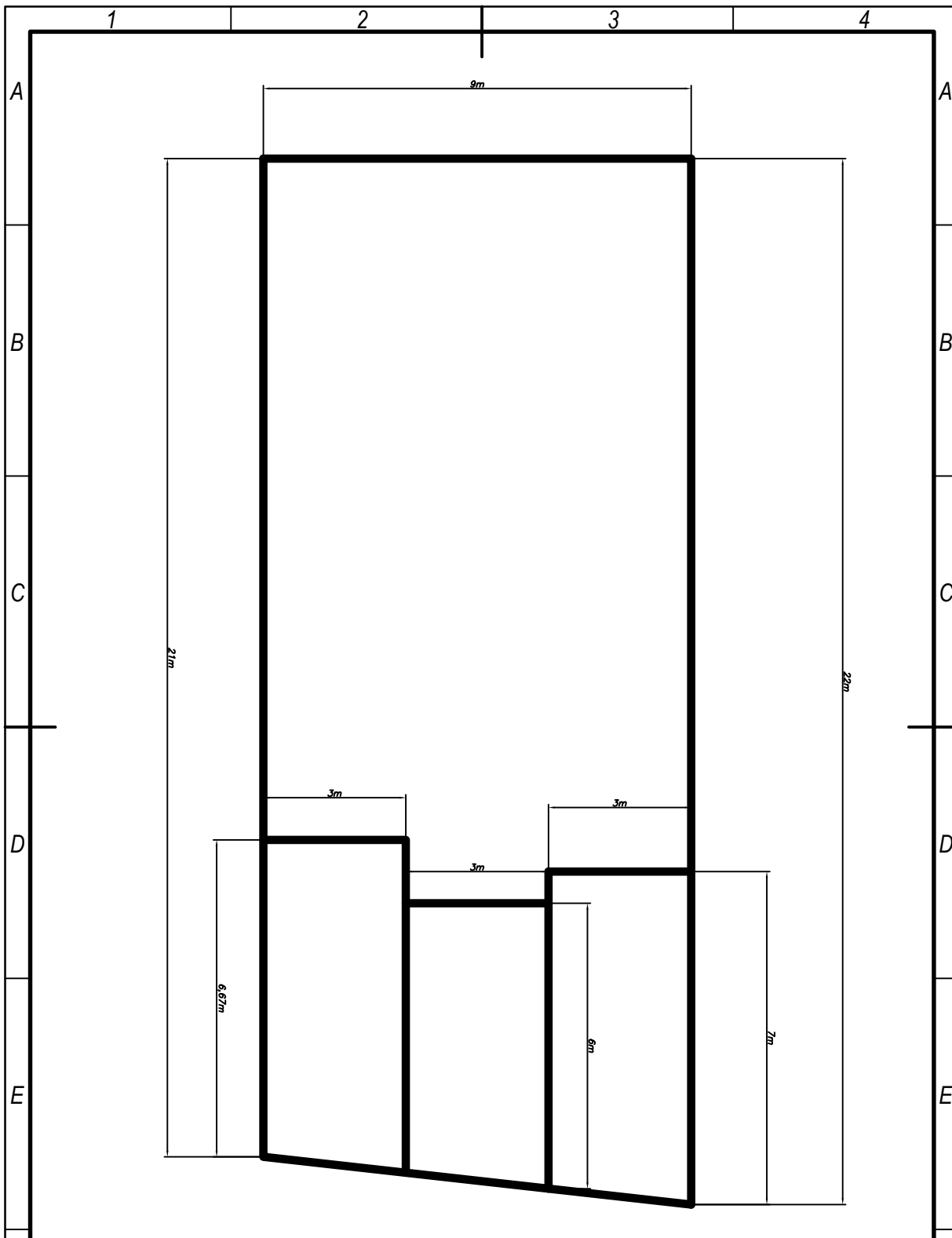
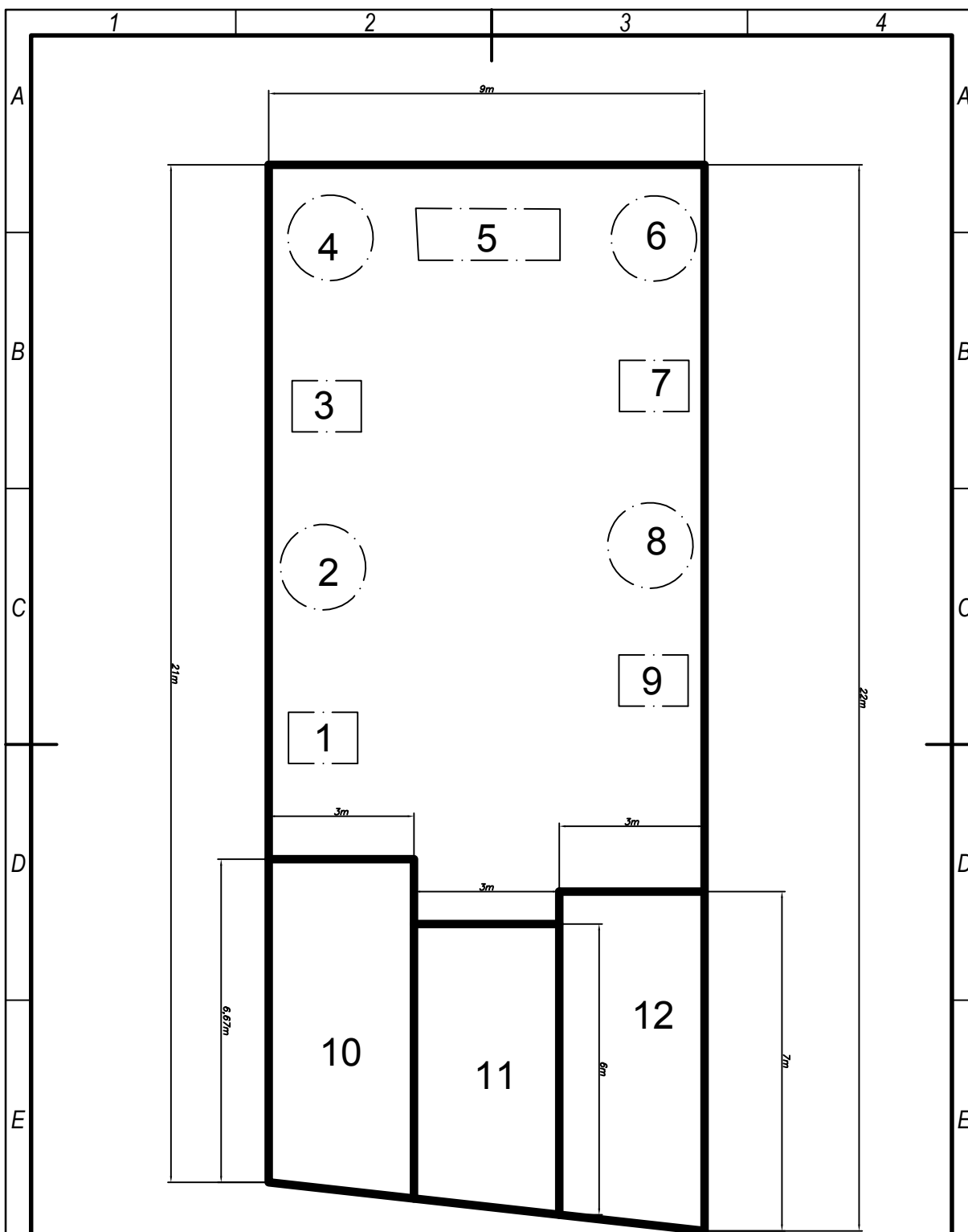


Figura 37. Flujos de producto en la planta y puntos demandantes de calor.

En las páginas siguientes se encuentran los planos de la nave vacía con la separación de los vestuarios y almacenes (Plano 1) y el plano con la planta de la nave y la distribución de la línea de procesado (Plano 2).



	Fecha	Nombre	Firma:	
Dibujado	19/03/2025	SAMUEL OLIVEROS		
Comprobado				
Escala	Titulo		Nº Alumno	779524
1/100	PLANTA DE PROCESADO SIN EQUIPOS DISPUESTOS		Curso	4ºIAMR
			Plano Nº	1



	Fecha	Nombre	Firma:	
Dibujado	19/03/2025	SAMUEL OLIVEROS		
Comprobado				
F	Escala	Título	Nº Alumno	F
	1/100	PLANTA DE PROCESADO CON EQUIPOS DISPUESTOS	779524	
			Curso	
			4ºIAMR	
			Plano Nº	
			2	
				A4

1. Selección y limpieza de cereal, 2. Remojo, 3. Germinado, secado y tostado, 4. Molienda, 5. Cocción, 6. Filtrado, 7. Maduración, 8. Embotellado, 9. Etiquetado, 10. Almacén de materia prima, 11. Vestuario, 12. Almacén producto final

9. Evaluación económica

La creación de una cervecería artesanal en Mas de las Matas, Teruel, tiene como objetivo no solo participar en el creciente mercado de la cerveza artesanal, sino también contribuir al desarrollo económico local. Este proyecto está diseñado para aprovechar el interés del consumidor en productos artesanales y de calidad, y al mismo tiempo fomentar el empleo y la actividad económica en una región afectada por la despoblación. Además, el plan prevé vender el 100% de la producción mensual mediante una estrategia de ventas agresiva, que incluye la distribución a bares, tiendas locales y venta directa al consumidor a través de canales en línea, lo que permitirá evitar el almacenamiento prolongado de productos, un factor que puede reducir la frescura y calidad del producto. Las cervecerías artesanales que implementan una estrategia de ventas rápida y enfocada en la rotación de inventario logran mejorar su rentabilidad al evitar costes de almacenamiento y deterioro del producto (García et al., 2019).

La viabilidad económica determina el potencial que tiene un proyecto empresarial, atendiendo a la diferencia entre el costo y beneficio de este. Para su determinación es preciso analizar aspectos técnicos, económicos y comerciales con la finalidad de valorar el retorno de la inversión. Así, van a emplearse herramientas financieras que para evaluar la rentabilidad del proyecto:

- **Valor Actual Neto (VAN):** se corresponde con los flujos de caja netos originados por una inversión. Si el resultado de esta operación es positivo quiere decir que el negocio es viable.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** es el valor de ganancia o pérdida que tendrá un proyecto para las partes involucradas, es decir, la rentabilidad. También se define como el valor que hace posible que el Valor Actual Neto sea igual a cero.
- **Plazo de Recuperación (Pay-back):** es una herramienta financiera de valoración de inversiones que permite determinar el plazo que demorará una empresa en recuperar el capital que invertirá un proyecto.

Para conseguir estos parámetros se van a calcular los gastos de inversión, los costes y los ingresos que tiene la industria a lo largo de un año para, posteriormente, calcular con ello los flujos de caja. Se va a tener en cuenta que el proyecto va a tener una vida útil de 30 años, tiempo durante el cual la inversión estará en funcionamiento y generando rendimientos.

El análisis económico que sigue a continuación desglosa los costes de inversión inicial, los costes operativos mensuales, las proyecciones de ventas y la rentabilidad esperada. También se aborda la decisión estratégica de no solicitar un préstamo, las ventajas de esta elección y una evaluación del tiempo de recuperación de la inversión.

9.1. Costes de inversión inicial

La inversión inicial está orientada a cubrir la compra de maquinaria, equipos, adecuación de la planta y pago de permisos y tasas, representando un coste de inversión inicial de 36.398,83 €.

Es importante destacar que no se solicitará un préstamo para financiar el proyecto, ya que el capital necesario está disponible a través de fondos propios. Al evitar recurrir a financiamiento externo, la cervecería eliminará los costes de intereses asociados, reduciendo así el riesgo financiero y garantizando que los beneficios generados desde el primer mes de operación puedan ser reinvertidos directamente en el negocio. Financiar un proyecto con recursos propios permite a los emprendedores tener mayor flexibilidad financiera y evitar la presión de cumplir con pagos periódicos de préstamos, lo que se traduce en un margen de maniobra más amplio en las etapas iniciales (Smith, 2018).

9.1.1. Maquinaria y equipos

Los costes de maquinaria y equipos, que son esenciales para la operación de la cervecería, ya han sido detallados en secciones anteriores y suman un total, de 26.728,83. Estos incluyen equipos como el horno para malteado, el equipo de cocción, el fermentador, y la llenadora de botellas, cada uno indispensable para las distintas etapas de producción.

9.1.2. Adecuación de la planta

Los costes de adecuación de la planta están estimados en 9.500 €, un valor relativamente bajo en comparación con proyectos similares (FAO, 2018). Este coste reducido es posible gracias a la contratación de una empresa local especializada en reformas industriales en pequeñas localidades. Esto no solo reduce los costes directos, sino que también apoya la economía local. Además, al ser una reforma que no conlleva modificación de la estructura de la nave, no requiere de proyecto ni de solicitud de reforma en la administración.

- *Remodelación de la nave:* La adaptación de la nave existente incluye la instalación de pisos industriales adecuados, impermeabilización y la creación de áreas específicas para cada etapa del proceso productivo. Estos ajustes menores no implican grandes reformas estructurales, lo que permite mantener los costes en 5.000 €.
- *Instalación eléctrica:* Se realizará una instalación eléctrica que garantice el correcto funcionamiento de las máquinas, cumpliendo con la normativa vigente. Los 2.000 € incluyen cableado, tableros eléctricos y la instalación de tomas trifásicas necesarias para los equipos de mayor potencia. Según lo establecido en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), aprobado por Real Decreto 842/2002, únicamente están obligadas a presentar proyecto eléctrico visado aquellas instalaciones que superen ciertos umbrales de potencia o características técnicas definidas en la Instrucción Técnica Complementaria (ITC)

BT-04. Esta instalación no cumple con los requisitos que obligan a hacer proyecto, por lo que no será necesario presentar un proyecto para la instalación.

- *Fontanería y ventilación:* El sistema de fontanería asegura un suministro continuo de agua potable y la eliminación adecuada de residuos líquidos, mientras que la ventilación se encargará de mantener condiciones ambientales seguras y saludables. Estos trabajos tendrán un coste de 2.500 €.

9.1.3. Licencias y permisos

El coste de los permisos municipales es de 170 €, lo que cubre las tasas locales de autorización para la instalación de la cervecería. Además, es necesario registrar la cervecería en el Registro General Sanitario de Empresas Alimentarias y Alimentos (RGSEAA), un requisito obligatorio para cualquier empresa que produzca alimentos o bebidas en España. El coste de este trámite es de aproximadamente 500 €, basado en las tarifas establecidas por el Gobierno de Aragón (Gobierno de Aragón, 2023).

9.2. Costes operativos mensuales

Se ha calculado el coste operativo mensual en 1.094,61 €/mes como la suma de cada uno los costes operativos individuales mensuales: Materias primas, consumo energético, mantenimiento, distribución y envases. A continuación, se detallan cada uno de dichos costes individuales.

9.2.1. Materias primas

Los precios estimados para las materias primas provienen de lonjas de cereales y proveedores especializados en la industria cervecera. Estos precios están actualizados al año 2023.

- *Cebada:* 0,2 €/kg, basado en precios actuales de la Lonja del Ebro y otros mercados de cereales (Lonja del Ebro, 2025).

$$0,2 * 100kg/lote * \frac{13 lotes}{12 meses} = 21,67€/mes$$

- *Lúpulo:* 80 €/kg, precio estándar de proveedores de lúpulo para cervecerías artesanales (Hop Growers Association, 2025).

$$80 * 0,75kg/lote * \frac{13 lotes}{12 meses} = 65€/mes$$

- *Levadura:* 60 €/kg, precio basado en el proveedor Fermentis.

$$60 * 5,05kg/lote * \frac{13 lotes}{12 meses} = 328,25€/mes$$

- *Azúcar*: 0,8 €/kg, precio de mercado para la materia prima utilizada en la fermentación en botella.

$$0,8 * 3,94\text{kg}/\text{lote} * \frac{13 \text{ lotes}}{12 \text{ meses}} = 3,41\text{€/mes}$$

Total, materias primas mensuales: 418,33 €

9.2.2. Consumo energético

- *Electricidad*: El consumo mensual es de 673 kWh, con un precio de 0.16 €/kWh según el informe de Red Eléctrica de España (2023). El coste Total, mensual de electricidad será de 107,68 €.
- *Gas butano*: Se estima un consumo de 7,4 kg/mes, con un precio de 1 €/kg según el Ministerio para la Transición Ecológica (2023). El coste mensual será de 7,40 €.
- *Agua*: El consumo estimado es de 2 m³ al mes, a un precio de 2 €/m³ (INE, 2023), lo que genera un gasto de 4 € mensuales.

Total, consumo energético mensual: 119,08 €

9.2.3. Mantenimiento de equipos

Los costes de mantenimiento se calculan como un porcentaje del valor Total, de los equipos. Según las recomendaciones del Journal of Brewing (2018), las cervecerías artesanales deben destinar entre el 2% y el 5% anual del valor de los equipos para su mantenimiento. En este caso, se estima un coste anual de mantenimiento de 960 €.

Total, mantenimiento de equipos mensual: 80 €

9.2.4. Costes de distribución

La distribución de la cerveza se realizará en un radio de 200 km alrededor de la planta. Basado en el cálculo del coste de kilometraje del Gobierno de España (2023), el coste promedio por kilómetro recorrido es de 0,26 €/km. La estimación de los costes de distribución mensual se ha realizado considerando entregas semanales en la región y optimización de rutas.

Total, costes de distribución mensual: 150 €.

9.2.5. Envases y empaquetado

Los precios de los envases y empaquetado (botellas, tapas, etiquetas y cajas) provienen de proveedores del sector cervecero (Ceramic Bottle Suppliers, 2025):

- *Botellas*: 0,20 €/unidad

$$0,2 * \frac{13 \text{ lotes}}{12 \text{ meses}} * 500\text{L}/\text{lote} * 2 \text{ botellas}/\text{L} = 216,66\text{€/mes}$$

- *Tapas*: 0,02 €/unidad

$$0,02 * \frac{13 \text{ lotes}}{12 \text{ meses}} * 500\text{L}/\text{lote} * 2 \text{ botellas}/\text{L} = 21,66\text{€/mes}$$

- *Etiquetas*: 0,01 €/unidad

$$0,01 * \frac{13 \text{ lotes}}{12 \text{ meses}} * 500\text{L}/\text{lote} * 2 \text{ botellas}/\text{L} = 10,83\text{€/mes}$$

- *Cajas*: 0,10 €/unidad

$$0,1 * \frac{13 \text{ lotes}}{12 \text{ meses}} * 500\text{L}/\text{lote} * \frac{2 \text{ botellas}}{6 \text{ botellas}} = 18,05\text{€/mes}$$

Total, coste total mensual para envasado y empaquetado: 267,2 €.

9.3. Proyección de ventas

Se proyecta la venta del 100% de la producción mensual, con un total, de 500 litros de cerveza producidos mensualmente, equivalentes a 1000 botellas de 0,5 litros. La estrategia de ventas se basa en una rotación rápida del inventario, evitando el almacenamiento prolongado que podría afectar la calidad del producto. Se priorizará la distribución a bares y tiendas locales, con un enfoque agresivo para mantener una demanda estable.

La rotación rápida de inventarios en pequeñas cervecerías artesanales reduce significativamente los costes asociados al almacenamiento y mejora la rentabilidad al ofrecer productos frescos que atraen a los consumidores (García et al., 2019).

Ingresos proyectados:

- $\text{Ingresos} = \frac{\text{precio}}{\text{botella}} * \frac{6500 \text{ L/año}}{12 \text{ meses} * 0,5\text{L}/\text{botella}}$
- $\text{Ingresos} = 2,55 \text{ €} * 1083,33 = 2762,5 \text{ € mensuales}$

El precio de venta establecido para la cerveza artesanal producida en esta cervecería, fijado en 2,55 € por botella de 0,5 litros, se encuentra plenamente justificado desde una perspectiva técnica, económica y comercial. Esta cifra responde no solo a los costes reales

de producción, sino también al posicionamiento del producto dentro del mercado actual de cervezas artesanales en España.

En primer lugar, el proceso de elaboración artesanal implica una serie de costes superiores a los de la cerveza industrial, debido principalmente a la escala reducida de producción (lotes de 500 litros), la utilización de ingredientes de calidad (como cebada malteada, lúpulo aromático, levaduras específicas y agua de proximidad) y una mayor intervención manual durante las fases de elaboración, embotellado y etiquetado. Todo ello conlleva a que el coste directo por botella (materias primas, consumos energéticos, materiales de envasado y mermas) se sitúe en torno a 1,10 € por unidad.

A este coste directo se suman los costes estructurales de funcionamiento, tales como el mantenimiento de las instalaciones, amortización de la maquinaria, seguros, licencias, gastos sanitarios (APPCC y registros sanitarios), así como pequeñas partidas destinadas a promoción y distribución. En conjunto, el coste total de producción por botella se estima entre 1,30 y 1,45 €, lo cual obliga a fijar un precio de venta que permita no solo cubrir estos costes, sino también garantizar la viabilidad y sostenibilidad económica del proyecto.

El margen comercial aplicado responde a una lógica prudente, situada en torno al 30%, lo que da lugar a un precio final de 2,55 € por botella. Esta cifra no solo es coherente con la estructura de costes, sino que también es competitiva dentro del mercado actual de cervezas artesanas. En efecto, tal como reflejan informes recientes del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2023), así como observaciones de mercado, el precio medio de venta de una botella de cerveza artesanal de 0,33 a 0,5 L se encuentra entre los 2 y 3 €, tanto en tiendas especializadas como en hostelería. Marcas consolidadas en Aragón y en provincias cercanas como Valencia y Castellón, que operan en volúmenes similares, comercializan sus productos dentro de este mismo rango.

Por tanto, el precio de 2,55 € por botella no solo cubre los costes reales del proceso, sino que también posiciona a esta cerveza dentro del segmento medio del mercado artesanal, transmitiendo una imagen de producto local, elaborado con mimo y con una propuesta diferenciada. Este precio permite además incorporar valor añadido percibido por el consumidor, vinculado a la producción sostenible, la trazabilidad de ingredientes y el arraigo territorial del proyecto.

9.4. Financiación y amortización de equipos

9.4.1. Financiación

Una de las ventajas clave de este proyecto es que no se solicitará un préstamo financiero. Esto es posible porque se cuenta con el capital necesario para la inversión inicial, lo que elimina la carga de los intereses y los pagos periódicos que reducirían el flujo de caja disponible para operar. Financiar un proyecto con capital propio permite a las empresas emergentes tener mayor flexibilidad para reinvertir los beneficios generados en el crecimiento del negocio, en lugar de destinar gran parte de los ingresos a la amortización de deudas. Además, este enfoque minimiza el riesgo financiero, ya que no existe la

obligación de realizar pagos de préstamos en caso de que los ingresos fluctúen (Brown, 2017).

9.4.2. Amortización de equipos

La amortización de los equipos se realizará utilizando el método lineal. Esto significa que el coste total de los equipos, estimado en 30.648,83 €, se dividirá por la vida útil esperada, que es de 15 años. El cálculo anual de la amortización sería el siguiente:

$$\text{Amortización anual} = \text{Coste Total, de los equipos} / \text{Vida útil} \quad (\text{Ec. 37})$$

Es decir:

- *Amortización anual* = 30648,83 € / 15 años = 2043,25 € anuales
- *Amortización mensual* = 2043,25 € / 12 = 170,27 € mensuales

Este método permite distribuir de manera uniforme el coste de los equipos a lo largo de su vida útil, lo que facilita la gestión financiera del proyecto. La amortización lineal es un enfoque común en la industria cervecera, ya que asegura que las inversiones en equipos se recuperen de manera constante durante su uso.

9.4.3. Mano de obra

En el presente análisis económico no se ha considerado el coste de la mano de obra asalariada, dado que se trata de un proyecto personal en el cual el propio promotor del negocio se dará de alta como autónomo y asumirá todas las funciones operativas y de gestión de forma directa. Este enfoque responde a la naturaleza inicial del proyecto, orientado a la puesta en marcha de una actividad empresarial con recursos propios y una estructura de costes contenida.

La elección de esta modalidad permite optimizar los recursos disponibles, reduciendo los gastos fijos mensuales, y facilita una gestión flexible y cercana del negocio. Asimismo, este modelo favorece la sostenibilidad económica en las primeras fases del emprendimiento, permitiendo reinvertir los beneficios obtenidos en la mejora de instalaciones, ampliación de la capacidad productiva y consolidación de la marca en el mercado.

En caso de que el proyecto experimente un crecimiento favorable y logre consolidarse, se contempla la posibilidad de incorporar personal adicional para apoyar en las operaciones. Esta decisión no solo respondería a la necesidad de aumentar la capacidad productiva, sino que también se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente aquellos vinculados a la fijación de población en el medio rural y la generación de empleo de calidad. De este modo, la evolución del proyecto puede contribuir activamente a la dinamización económica de la zona, promoviendo un impacto social positivo y duradero.

Por otro lado, se han tenido en cuenta los costes asociados al alta como trabajador autónomo, que incluyen el pago de la cuota mensual a la Seguridad Social, cuyo importe durante el primer año se acoge a la tarifa plana vigente, fijada en 80 € mensuales para nuevos autónomos durante los primeros 12 meses (Seguridad Social, 2024). Este gasto se ha contemplado dentro de los costes fijos del proyecto, junto con otros gastos administrativos derivados de la actividad, como pueden ser gestoría, seguros de responsabilidad civil y licencias municipales. Estos costes, aunque moderados, son necesarios para garantizar el cumplimiento de la normativa y el correcto funcionamiento de la actividad económica desde el inicio.

A partir del segundo año de actividad, el coste mensual de la cuota de autónomos aumentará al aplicarse la base mínima de cotización establecida por la Seguridad Social, lo que implicará un incremento significativo en la aportación mensual. En 2025, este importe se eleva a 290 €, cifra que se ajustará anualmente en función de las modificaciones en las bases de cotización y las actualizaciones normativas. Además, en los años posteriores, se considerarán otros posibles gastos asociados al aumento de ingresos del negocio, como la necesidad de contratar servicios adicionales o la ampliación de cobertura en seguros. Esta estructura de costes crecerá de manera escalonada conforme el proyecto se consolide, pero siempre dentro de un marco de sostenibilidad económica, asegurando que los incrementos en los gastos fijos estén justificados por el aumento de la capacidad productiva y la rentabilidad del negocio.

Para el cálculo del margen de beneficio se va a escoger el mayor costo de cuota de autónomos, no el reducido por la bonificación del primer año. Por lo tanto, cuota de autónomo 290€.

9.5. Margen de beneficio

El cálculo del margen de beneficio por botella es fundamental para evaluar la rentabilidad del proyecto.

- $\text{Coste por botella} = \text{Total, costes} / \text{Número de botellas}$ (Ec. 38)
- $\text{Coste por botella} = 1094,61 \text{ €} / 1083,33 \text{ botellas} = 1,01 \text{ € por botella}$

El margen de beneficio por botella se calcula restando el coste unitario del precio de venta:

- $\text{Margen de beneficio} = \text{Precio de venta} - \text{Coste por botella}$ (Ec. 39)
- $\text{Margen de beneficio} = 2,55 \text{ €} - 1,01 \text{ €} = 1,539 \text{ € por botella}$

En términos porcentuales, el margen de beneficio por botella sería:

- $\text{Margen de beneficio (\%)} = (\text{Margen de beneficio} / \text{Precio de venta}) * 100$ (Ec. 40)
- $\text{Margen de beneficio (\%)} = (1,539 \text{ €} / 2,55 \text{ €}) * 100 = 60,35\%$

Este margen de beneficio del 60,35% es altamente favorable, lo que indica que el proyecto puede generar ganancias significativas a partir de la venta de cada botella. En la industria cervecera artesanal, los márgenes de beneficio suelen oscilar entre el 45% y el 70%, por lo que este margen se encuentra en el rango de rentabilidad. Esto proporciona una excelente oportunidad para reinvertir en el crecimiento del negocio y mejorar continuamente el proceso de producción y distribución (Brown, 2017).

9.6. Tiempo de recuperación de la inversión

El tiempo de recuperación de la inversión es un indicador clave para determinar la viabilidad del proyecto a largo plazo. Con un beneficio mensual estimado de 1.667,89 € (ingresos de 2.762,5 € menos costes operativos de 1.094,61 €), podemos calcular el tiempo que tomará recuperar la inversión inicial de 36398,83 €.

- *Tiempo de recuperación* = Inversión inicial / Beneficio mensual (Ec. 41)
- *Tiempo de recuperación* = 36398,83 € / 1.667,89 € ≈ 21,8 meses ≈ 1,81 años

Los proyectos que logran recuperar la inversión en un plazo de entre 2 y 4 años pueden considerarse viables y de riesgo moderado, especialmente si muestran un flujo de caja constante y márgenes de beneficio saludables (Hernández, 2020). Recuperar la inversión en aproximadamente 21,8 meses indica que el proyecto es rentable y tiene potencial de sostenibilidad a medio plazo. Aunque no se trata de una recuperación inmediata, el retorno sigue siendo atractivo dentro del sector artesanal, permitiendo al emprendedor planificar con mayor estabilidad financiera. Una vez alcanzado el punto de equilibrio, el proyecto comenzará a generar flujo de caja positivo, lo que abre oportunidades para reinversión o expansión futura.

9.7. Indicadores financieros (TIR, VAN y Plazo de recuperación)

9.7.1. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es el tipo de interés que hace que el valor presente neto de los flujos de caja sea igual a cero. Para calcularla, se necesita resolver la ecuación 42:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (Ec. 42)$$

Donde:

- FC_t es el flujo de caja neto en el periodo t.
- r es el número de años.
- I_0 es la inversión inicial.

- *TIR es la tasa interna de retorno.*

Se utilizaron los flujos de caja netos anuales proyectados, basados en los ingresos menos los costes operativos anuales, y la inversión inicial de 36398,83 €.

En este caso, la TIR resultante fue del 15%, lo que significa que el proyecto genera un rendimiento anual del 15% sobre la inversión inicial.

9.7.2. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (Ec. 43)$$

donde:

- FC_t es el flujo de caja neto en el periodo t ,
- r es la tasa de descuento (en este caso, 8%),
- n es el número de años,
- I_0 es la inversión inicial.

Los flujos de caja netos anuales se basan en el beneficio mensual de 1.667,89 € multiplicado por 12 meses, lo que da un flujo de caja anual de 20.014,68 €.

Al aplicar una tasa de descuento del 8%:

$$VAN = \frac{20.014,68}{(1+0,08)^1} + \frac{20.014,68}{(1+0,08)^2} + \frac{20.014,68}{(1+0,08)^3} + \dots + \frac{20.014,68}{(1+0,08)^{15}} - 36.398,83$$

El VAN es 134.915,66 €, lo que indica que el proyecto generará un valor adicional igual a esa cifra sobre la inversión inicial, lo que lo hace viable.

9.7.3. Plazo de recuperación de la inversión (Pay Back)

El Plazo de recuperación de la inversión es el tiempo necesario para que los flujos de caja acumulados igualen la inversión inicial. En este caso, se calcula como sigue:

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio mensual neto}} \quad (Ec. 44)$$

Usando el beneficio mensual neto de 1.667,89 €, y una inversión inicial de 36398,83 €:

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{36.398,83}{1.667,89} = 21,83 \text{ meses}$$

Este resultado indica que se necesitarán aproximadamente 21,84 meses (\approx 1,82 años) para recuperar la inversión inicial.

9.8. Cuello de botella y expansión del negocio

El principal cuello de botella en el proceso productivo es la etapa de fermentación, que requiere entre 2 y 3 semanas para completarse. Durante este tiempo, el fermentador no puede ser reutilizado para un nuevo lote, lo que limita la capacidad de producción. Actualmente, la cervecería cuenta con un solo fermentador, lo que restringe la producción a un máximo de 500 litros por lote.

Para resolver este cuello de botella, se ha evaluado la adquisición de fermentadores adicionales, que se situarían adyacentes a los existentes. Con más fermentadores, la cervecería podría duplicar su producción, lo que permitiría aumentar los ingresos sin incrementar significativamente los costes operativos. La inversión en dos fermentadores adicionales, que tienen un coste aproximado de 660 €, se amortizaría rápidamente gracias al aumento de la capacidad de producción y las ventas. Este tipo de expansión es común en cervecerías artesanales en crecimiento, ya que permite maximizar el uso de los recursos disponibles y aprovechar mejor la demanda del mercado.

9.9. Análisis de escenarios

En todo estudio de viabilidad económica es imprescindible realizar un análisis de sensibilidad que contemple cómo afectaría al proyecto una posible variación de los factores clave del entorno. Las materias primas, el precio de venta y el volumen de ventas son variables especialmente sensibles en el sector cervecero artesanal, ya que pueden verse influenciadas por factores de mercado, logística o comportamiento del consumidor. Evaluar escenarios alternativos permite anticipar riesgos, mejorar la toma de decisiones y asegurar la resiliencia del modelo de negocio.

A continuación, se presentan tres escenarios con cambios sobre los valores originales del análisis económico base. En cada caso, se recalculan los principales indicadores financieros.

9.9.1. Escenario 1: Aumento del 10% en el precio de las materias primas

Se simula un incremento del 10% en los costes de cebada, lúpulo, levadura y azúcar. Esto eleva el coste mensual de materias primas de 418,33 € a 460,16 €, lo que reduce ligeramente el beneficio mensual neto.

- *Flujo de caja anual ajustado: 19.515,69 €*
- *VAN (r = 8%): 130.254,43 €*
- *TIR: 52,88%*
- *Payback: 1,86 años*

A pesar del incremento en costes, el proyecto sigue siendo altamente rentable. Esto demuestra que el margen de beneficio absorbe bien estas variaciones, manteniendo una recuperación rápida de la inversión.

9.9.2. Escenario 2: Disminución del 10% en el precio de venta

En este caso, el precio de venta por botella se reduce de 2,55 € a 2,30 €. Con ello, el ingreso mensual disminuye a 2.483,67 €, y el beneficio mensual neto baja a 1.389,06 €.

- *Flujo de caja anual ajustado: 16.668,72 €*
- *VAN (r = 8%): 104.202,73 €*
- *TIR: 43,63%*
- *Payback: 2,17 años*

La rentabilidad se ve más afectada que en el escenario anterior. Sin embargo, los resultados siguen siendo positivos. Este escenario podría ser útil en campañas promocionales o estrategias de posicionamiento competitivo.

9.9.3. Escenario 3: Disminución del 15% en las ventas

Supone vender un 15% menos de la producción total (pasando de 6500 L/año a 5525 L/año). Esto implica una reducción proporcional de ingresos y del beneficio mensual, que se sitúa en 1.417,06 €.

- *Flujo de caja anual ajustado: 17.004,72 €*
- *VAN (r = 8%): 106.438,36 €*
- *TIR: 44,26%*
- *Payback: 2,13 años*

Este escenario evidencia cómo una bajada en las ventas puede tener un impacto importante en la viabilidad del proyecto. No obstante, el modelo sigue siendo rentable.

Reforzar estrategias de fidelización, promoción y distribución es clave para evitar este escenario.

9.10. Conclusión y opinión general

En términos generales, la evaluación económica del proyecto de cervecería artesanal en Mas de las Matas es positiva. Los costes de inversión inicial son razonables, y al evitar el financiamiento mediante préstamos, se reduce el riesgo financiero y se optimiza el flujo de caja. El análisis del margen de beneficio por botella indica que el proyecto es rentable desde el punto de vista operativo, con un margen del 49,77%, lo que coloca al negocio en una posición sólida para generar ganancias desde el primer año.

Además, el tiempo de recuperación de la inversión es relativamente corto, con 36,4 meses, lo que lo convierte en una inversión atractiva. Este rápido retorno es una ventaja significativa, ya que proporciona seguridad financiera a los inversores y permite reinvertir en el crecimiento del negocio de manera temprana. La adición de un fermentador adicional es una estrategia lógica para expandir la capacidad de producción y aumentar los ingresos, lo que refuerza la viabilidad a largo plazo del proyecto.

En resumen, esta cervecería artesanal tiene una estructura de costes eficiente, un potencial de beneficio sólido y un tiempo de recuperación favorable, lo que asegura un flujo de caja sólido y un potencial de crecimiento sostenido.

10. Impacto social

La evaluación del impacto social es un componente esencial en la planificación y desarrollo de proyectos que buscan no solo viabilidad económica, sino también beneficios tangibles para la comunidad local. En el contexto del proyecto de creación de un proceso productivo de cerveza turbia artesanal en Mas de las Matas, Teruel, es fundamental considerar cómo esta iniciativa influirá en la estructura social, económica y cultural de la localidad. En un entorno donde la despoblación y la pérdida de identidad cultural son desafíos persistentes, la creación de una cervecería artesanal puede ofrecer un camino para revitalizar la comunidad y fomentar un sentido de pertenencia entre los habitantes.

El impacto social de un proyecto de esta naturaleza puede medirse a través de diversas dimensiones. En primer lugar, la generación de empleo es uno de los efectos más inmediatos y visibles que se pueden esperar. La cervecería no solo ofrecerá puestos de trabajo directos en áreas como producción, ventas y distribución, sino que también puede impulsar la creación de empleos indirectos en sectores relacionados, como el transporte y el comercio local. Este efecto multiplicador tiene el potencial de mejorar la calidad de vida de las familias de la localidad y reducir la migración hacia áreas urbanas en busca de oportunidades laborales, ligado íntimamente a los ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” y 8 “Trabajo decente y crecimiento económico”.

Además, la cervecería puede servir como un motor de desarrollo local al fomentar la agricultura sostenible. Al utilizar ingredientes locales, se puede crear una sinergia entre el proyecto cervecero y los productores agrícolas de la región, garantizando un mercado seguro para los productos locales y promoviendo prácticas de cultivo responsables. Esta relación no solo beneficia a los agricultores, sino que también eleva el perfil de la producción local, creando un sentido de orgullo entre los residentes y promoviendo la identidad cultural de Mas de las Matas, siguiendo así los ODS 12 “Producción y consumo responsables” y nuevamente, 11 y 8.

Otro aspecto para considerar es el papel que puede desempeñar la cervecería en la educación y sensibilización de la comunidad sobre el consumo responsable de alcohol y la producción sostenible. A través de eventos y talleres, la cervecería puede educar a los residentes sobre la importancia de elegir productos locales y promover prácticas de consumo saludable. De esta manera se estaría contribuyendo a los ODS 4 “Educación de calidad” y 3 “Salud y bienestar”.

La evaluación del impacto social del proyecto de cervecería artesanal en Mas de las Matas debe ser integral, considerando no solo los beneficios económicos directos, sino también las oportunidades para la revitalización comunitaria, el fortalecimiento de la agricultura local y la promoción de un consumo responsable. Este enfoque holístico permitirá maximizar los beneficios del proyecto y contribuir a un desarrollo sostenible en la región.

10.1. Generación de empleo

La creación de una cervecería artesanal en Mas de las Matas podría tener un impacto notable en el empleo local, generando 1 puesto de trabajo a tiempo completo, que deberá llevar a cabo la completa diversidad de actividades que comprenden la industria, desde operario de producción hasta encargado de marketing.

La generación de este puesto de empleo no solo tendrá un efecto directo en las familias involucradas, sino que también contribuirá a la economía local. Según el estudio de López et al. (2020), las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en el sector de la alimentación y bebidas tienen un efecto multiplicador significativo en el mercado laboral local. La posibilidad de crear 1 empleo directo en la cervecería puede derivar en aproximadamente 5 a 6 empleos indirectos en otras áreas, como servicios y suministros. En un contexto donde la tasa de desempleo puede ser alta, la creación de estos puestos de trabajo se traduce en una mejora de la calidad de vida y un fortalecimiento del tejido social en la comunidad.

10.2. Revitalización de la comunidad rural

El establecimiento de una cervecería artesanal puede ser un motor de desarrollo y revitalización para Mas de las Matas, que ha enfrentado problemas de despoblación y pérdida de identidad cultural en los últimos años. Esto implica que la cervecería podría no solo mejorar la situación económica del área, sino también contribuir a la creación de una identidad comunitaria renovada, donde los productos locales son valorados y promocionados.

Además, la cervecería puede atraer tanto a residentes como a turistas, estimulando el comercio local. La presencia de un negocio que ofrezca productos artesanales puede incentivar a otros emprendedores a establecer negocios complementarios, como restaurantes, tiendas de souvenirs o empresas de turismo rural. La investigación de González et al. (2021) muestra que las cervecerías que promueven sus productos de forma activa pueden aumentar su visibilidad y atraer un mayor número de turistas interesados en la gastronomía local.

La revitalización económica también se manifiesta en la creación de redes sociales. Las cervecerías pueden convertirse en centros comunitarios que organicen eventos, ferias y actividades culturales, fortaleciendo la cohesión social entre los residentes. En Teruel, que ha visto caer su población en un 30% en los últimos años (Justicia de Aragón, 2018), este tipo de iniciativas son vitales para reactivar el interés en la vida rural y atraer a nuevos habitantes, especialmente jóvenes que buscan oportunidades en áreas menos densamente pobladas.

10.3. Promoción del producto local y revalorización de la agricultura

La elección de utilizar ingredientes locales para la producción de cerveza tiene un impacto significativo en la agricultura regional. Según un estudio de González et al. (2021), las cervecerías que utilizan insumos locales pueden revitalizar la agricultura, proporcionando a los agricultores un mercado seguro para sus productos. La demanda de cebada para la producción de cerveza en España fue de aproximadamente 3 millones de toneladas en 2019, y se estima que una cervecería artesanal podría consumir entre 100 y 300 toneladas de cebada anualmente. Esta nueva demanda puede incentivar a los agricultores de la zona a cultivar variedades específicas que se adapten a las necesidades de la cervecería, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y generando un impacto positivo en la economía local.

Además, al fomentar el uso de productos de cercanía, la cervecería puede contribuir a la reducción de la huella de carbono asociada al transporte de ingredientes, alineándose con prácticas de sostenibilidad y responsabilidad ambiental. En Teruel, donde la agricultura ha sido una parte fundamental de la economía local, esta conexión entre la cervecería y los agricultores podría revitalizar sectores que han estado en declive. Las cooperativas agrícolas y los agricultores individuales podrían beneficiarse de contratos de suministro estables y justos, lo que les permitiría invertir en sus operaciones y mejorar sus condiciones de vida.

Al promover el consumo de productos locales, la cervecería también ayuda a fortalecer la identidad cultural de Mas de las Matas y de la provincia de Teruel. La comunidad puede comenzar a ver la cerveza artesanal no solo como un producto, sino como un símbolo de orgullo local, lo que a su vez fomenta un sentido de pertenencia y comunidad entre los habitantes.

10.4. Reducción de la despoblación

La despoblación es un problema crítico en muchas áreas rurales de España, incluida la provincia de Teruel, donde el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2021) reporta que algunas localidades han perdido hasta el 30% de su población en la última década. La creación de una cervecería artesanal podría contribuir a revertir esta tendencia atrayendo a nuevos residentes y creando oportunidades para jóvenes emprendedores. Un estudio de Alonso y Bujalance (2019) destaca que iniciativas de emprendimiento local pueden mejorar la oferta laboral en áreas rurales en un 20-30%, haciendo que estas localidades sean más atractivas para vivir y trabajar.

Además, la cervecería podría convertirse en un centro de formación y capacitación, brindando habilidades valiosas a los jóvenes de la comunidad que buscan oportunidades laborales en la industria de la alimentación y bebidas. Con la posibilidad de realizar programas de formación en colaboración con instituciones educativas, la cervecería no solo crea empleos, sino que también eleva el nivel de formación de la fuerza laboral local, ayudando a evitar que los jóvenes se desplacen a las ciudades en busca de mejores oportunidades.

La atracción de nuevos residentes no solo se limita a aquellos que buscan empleo, sino también a aquellos que desean un estilo de vida diferente, más conectado con la naturaleza y la comunidad. Proyectos como este pueden cambiar la percepción de áreas rurales como Mas de las Matas, convirtiéndolas en lugares deseables para vivir y trabajar. La creación de un entorno laboral positivo, junto con la promoción de un estilo de vida relacionado con la producción local, puede ayudar a estabilizar y, potencialmente, aumentar la población en la región.

10.5. Conciencia social y educativa

Las cervecerías pueden desempeñar un papel crucial en la educación de la comunidad sobre la producción sostenible y el consumo responsable. Según un estudio de la Fundación Alimentaria (2020), aproximadamente el 40% de los consumidores están interesados en aprender más sobre los procesos de elaboración de la cerveza y la importancia de los productos locales. Organizar talleres, catas de cerveza y eventos educativos no solo atraerá a más visitantes, sino que también fortalecerá el sentido de comunidad y pertenencia.

Además, la educación sobre el consumo responsable es vital. La Organización Mundial de la Salud (2018) indica que las campañas educativas pueden reducir el consumo excesivo de alcohol en un 30% en comunidades que participan activamente en estas iniciativas. La cervecería podría implementar programas de sensibilización que aborden el impacto del consumo excesivo y promuevan hábitos saludables. Esto no solo beneficiaría a la comunidad, sino que también podría mejorar la reputación de la cervecería como un negocio socialmente responsable.

La creación de un entorno educativo dentro de la cervecería también puede servir como un atractivo adicional para los turistas que buscan experiencias auténticas y enriquecedoras. Al organizar actividades que incluyan la historia de la producción de cerveza en la región, la cultura local y la gastronomía, la cervecería puede convertirse en un destino en sí mismo, atrayendo visitantes que deseen aprender y participar en la vida comunitaria.

10.6. Impacto en la salud pública

Es esencial abordar el tema del consumo responsable en el contexto de una cervecería. La Organización Mundial de la Salud (2018) afirma que un enfoque proactivo hacia el consumo responsable de alcohol puede ayudar a disminuir las tasas de problemas relacionados con el alcohol en un 10-20%. La cervecería puede adoptar un enfoque educativo, promoviendo el consumo moderado y ofreciendo alternativas sin alcohol. Esto no solo beneficia a la comunidad, sino que también puede mejorar la reputación de la cervecería como un negocio consciente de su entorno.

Además, al proporcionar información clara sobre los efectos del consumo excesivo y fomentar un ambiente donde se celebre el consumo responsable, la cervecería puede contribuir a mejorar la salud pública en la región. La promoción de eventos comunitarios que no se centren exclusivamente en el consumo de alcohol, como festivales de comida o ferias de productos locales, puede ayudar a diversificar las actividades de la cervecería y

atraer a un público más amplio. Estas iniciativas también pueden fomentar la participación de la comunidad en la promoción de un estilo de vida saludable, reduciendo la carga social y económica asociada al abuso del alcohol.

Por lo tanto, el establecimiento de una cervecería artesanal en Mas de las Matas, Teruel, puede tener un impacto social positivo y significativo en varios niveles, desde la generación de empleo y la revitalización económica hasta la promoción de la agricultura local y la lucha contra la despoblación. Las cifras y datos respaldan la viabilidad y el potencial transformador de este tipo de iniciativas, ofreciendo una perspectiva optimista sobre el futuro de la comunidad rural en una región que enfrenta desafíos considerables. La planificación cuidadosa y la consideración de las necesidades locales serán fundamentales para maximizar estos beneficios y contribuir a un desarrollo sostenible a largo plazo.

11. Conclusiones

11.1. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto ha permitido analizar en profundidad el proceso de producción de cerveza artesanal, desde la selección de materias primas hasta la etapa final de embotellado. Se ha diseñado una línea de producción eficiente, basada en balances de materia y energía, con el objetivo de optimizar el consumo de recursos y minimizar las pérdidas en cada etapa del proceso.

Uno de los aspectos más destacados es la elección de una producción en lotes de 500 litros, una cantidad adecuada que equilibra la eficiencia operativa con la flexibilidad productiva. Esta escala permite gestionar la producción de manera óptima, evitando desperdicios y asegurando la frescura del producto final.

A través del balance de materia, se han identificado las pérdidas y transformaciones en cada etapa, desde la evaporación de agua en la cocción hasta la eliminación de residuos sólidos como el bagazo. De manera complementaria, el balance de energía ha permitido cuantificar el consumo de electricidad y gas butano en cada fase del proceso, garantizando una producción eficiente y sostenible.

La selección de la maquinaria se ha realizado en función de las necesidades específicas de cada etapa, asegurando que los equipos cuenten con la capacidad y eficiencia necesarias para cumplir con los objetivos productivos. Factores como el consumo energético, la capacidad de procesamiento y la inversión inicial han sido determinantes en la elección de los equipos, priorizando la sostenibilidad y la viabilidad económica del proyecto.

Además, se ha analizado el impacto social y económico de la cervecería en la comunidad local. La generación de empleo, la promoción de proveedores regionales y la dinamización del sector agroalimentario de la zona refuerzan la viabilidad del proyecto, aportando beneficios tanto a nivel económico como social.

Este proyecto ha demostrado que es posible implementar un modelo de producción de cerveza artesanal eficiente, sostenible y económicamente viable. La integración de análisis técnicos detallados y estrategias de optimización garantiza no solo la calidad del producto final, sino también la competitividad en el mercado cervecero.

11.2. Conclusions

The development of this project has enabled an in-depth analysis of the craft beer production process, from raw material selection to the final bottling stage. An efficient production line has been designed, based on mass and energy balances, with the aim of optimizing resource consumption and minimizing losses at each stage of the process.

One of the key aspects is the choice of a 500-liter batch production, an appropriate quantity that balances operational efficiency with production flexibility. This scale allows for optimal management of production, preventing waste and ensuring the freshness of the final product.

Through the mass balance, losses and transformations at each stage have been identified, from water evaporation during boiling to the removal of solid residues such as spent grain. Complementarily, the energy balance has quantified electricity and butane gas consumption at each phase, ensuring an efficient and sustainable production process.

The selection of machinery has been made based on the specific needs of each stage, ensuring that the equipment has the necessary capacity and efficiency to meet production goals. Factors such as energy consumption, processing capacity, and initial investment have been decisive in the choice of equipment, prioritizing sustainability, and the economic feasibility of the project.

Furthermore, the social and economic impact of the brewery on the local community has been analyzed. Job creation, the promotion of regional suppliers, and the revitalization of the local agri-food sector reinforce the project's viability, providing benefits both economically and socially.

In conclusion, this project has demonstrated that it is possible to implement an efficient, sustainable, and economically viable craft beer production model. The integration of detailed technical analyses and optimization strategies ensures not only the quality of the final product but also competitiveness in the beer market.

12. Bibliografía

- AECAI (2023). *Informe sobre el estado del mercado cervecero artesanal en España*. Asociación Española de Cerveceros Artesanos Independientes.
- Afonin, Dmitriy, Vladimirovich., Igor, Valerievich, Matveev. (2020). Method for production of grain malt and malt product produced by such method.
- Alltech, Journal of brewers (2018). Trends in global beer consumption: An analysis of market data. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(3), 215-230.
- Alonso, M., y Bujalance, I. (2019). Local entrepreneurship and its impact on rural depopulation: A case study in Spain. *Rural Sociology*, 84(2), 299-319. <https://doi.org/10.1111/ruso.12278>
- Aragón Beers (2025). *Análisis del sector cervecero en Aragón*. Gobierno de Aragón.
- Asociación Española de Cerveceros Artesanos Independientes (AECAI), Beer Events, & Fundación Social Innolabs. (2021). *Informe Técnico de la Cerveza Artesana e Independiente de España*. AECAI.
- Asociación Española de Cerveza Artesana e Independiente. (2021). Informe técnico de la Cerveza Artesana e Independiente.
- Asociación Española de Técnicos de Cerveza y Malta. (2024). Informe de la producción de cerveza en el mundo durante 2023.
- Astray, G., Gullón, P., Gullón, B., Munekata, P. E. S., y Lorenzo, J. M. (2020). Humulus lupulus L. as a Natural Source of Functional Biomolecules. *Applied Sciences*, 10(15). <https://doi.org/10.3390/app10155074>
- Baiano, A. (2021). Craft beer: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12693>
- Bamforth, C. W. (2003). Wort composition and beer quality. Brewing yeast fermentation performance. In K. Smart (Ed.), *Brewing Yeast Fermentation Performance* (pp. 75–85). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470696040>
- Bamforth, C. W. (2009). Current perspectives on the role of enzymes in brewing. *Journal of Cereal Science*, 50(3), 353-357. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.03.001>
- Bogdan, P., y Kordialik-Bogacka, E. (2017). Alternatives to malt in brewing. *Trends in Food Science y Technology*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.001>

- Boto Fidalgo, J. A. (2017). La cerveza: Ciencia, tecnología, ingeniería, producción, valoración.
- Brian, Eaton. (2017). An Overview of Brewing. 53-66. doi: 10.1201/9781351228336-3
- Briggs, D. E., Hough, J. S., Stevens, R., y Young, T. W. (2004). Malting and brewing science: Volume 1: Malt and Sweet Wort. Springer Science y Business Media.
- Buiatti, S., Guglielmotti, M., y Passaghe, P. (2021). Industrial beer versus craft beer: definitions and nuances. In Case Studies in the Beer Sector. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817734-1.00001-X>
- Cabras, I., y Bamforth, C. (2016). From reviving tradition to fostering innovation and changing marketing: the evolution of micro-brewing in the UK and US, 1980–2012. *Business History*, 58(5). <https://doi.org/10.1080/00076791.2015.1027692>
- Cajetan, Geißinger., Martina, Gastl., Thomas, Becker. (2021). Enzymes from Cereal and Fusarium Metabolism Involved in the Malting Process – A Review. *Journal of The American Society of Brewing Chemists*, 1-16. doi: 10.1080/03610470.2021.1911272
- Ceramic Bottle Suppliers. (2025). Beer Bottle and Packaging Prices.
- Cerveceros de España (2023). *Memoria anual del sector cervecero en España*. Asociación de Cerveceros de España.
- Ciani, M., Comitini, F., y Mannazzu, I. (2019). Role of non-Saccharomyces yeasts in bottle conditioning of beer: Potential and perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2578. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02578>
- Dekkers, Freddy., Bolat, Irina., Dumont, Koenraad. (2020). Method for producing malt.
- Doran, P.M. (1995). Principios de ingeniería de los bioprocesos. Ed. Acribia S.A. ISBN: 9788420008530
- Eumann, M. (2006). Water in brewing. In *Brewing*. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845691738.183>
- European Beer Trends. (2023). Statics Report. Recuperado de <https://factoriadecerveza.com/europa-tiene-un-total-de-12-879-cervecerias-registradas-segun-el-european-beer-trends/>
- FAO. (2018). Manual de diseño de microindustrias alimentarias. Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Freixes, S., Punsola A. (2021). El mundo de la cerveza artesanal.

Fundación Alimentaria. (2020). Informe sobre el consumo responsable de alcohol en España.

García, P., Martínez, J., y López, M. (2019). Economic Strategies for Small-Scale Craft Breweries: Maximizing Profitability through Inventory Management. *Journal of Beverage Production*.

Gobierno de Aragón. (2023). Registro General Sanitario de Empresas Alimentarias y Alimentos (RGSEAA). <https://www.aragon.es>

Gobierno de España (2016). Real Decreto 678/2016, de 16 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico del estatuto de la empresa privada. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 304, de 17 de diciembre de 2016.

González, R., López, J., y Martínez, P. (2021). Impact of craft breweries on local agriculture: A case study from Spain. *Sustainability*, 13(5), 2655. <https://doi.org/10.3390/su13052655>

He, Y., Dong, J., Yin, H., Zhao, Y., Chen, R., Wan, X., Chen, P., Hou, X., Liu, J., y Chen, L. (2014). Wort composition and its impact on the flavour-active higher alcohol and ester formation of beer - a review. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(3), 157–163. <https://doi.org/10.1002/jib.145>

Hernández Mora, J.A. y Acevedo Páez, J.C. (2014). Producing Ethanol from Glycerin, a Biofuel By-Product, using *Saccharomyces Cerevisiae*. *Ingeniería Solidaria*. 9(16), 97–101.

Hernández, C. (2020). Investment Risk Analysis in Small Business Ventures. *Small Business Economics Journal*.

Hop Growers Association. (2025). Hop Prices for the Craft Brewing Industry. <https://www.usahops.org>

Humia, B. V., Santos, K. S., Barbosa, A. M., Sawata, M., Mendonça, M. da C., y Padilha, F. F. (2019). Beer Molecules and Its Sensory and Biological Properties: A Review. *Molecules*, 24(8). <https://doi.org/10.3390/molecules24081568>

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2025). Precios medios del agua en España. <https://www.ine.es>

- Justicia de Aragón. (2018). La despoblación en Aragón. Observatorio de la Población. Recuperado de <https://observatoriopoblacion.aragon.es>.
- Kanauchi, M., y Bamforth, C. W. (2012). β -Glucoside Hydrolyzing Enzymes from Ale and Lager Strains of Brewing Yeast. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 70(4), 303–307. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2012-1012-02>
- Kishimoto, T., Teramoto, S., Fujita, A., y Yamada, O. (2021). Evaluation of Components Contributing to the International Bitterness Unit of Wort and Beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. <https://doi.org/10.1080/03610470.2021.1878684>
- Kozłowski, R., Dziędziński, M., Stachowiak, B., y Kobus-Cisowska, J. (2021). Non- and low- alcoholic beer – popularity and manufacturing techniques [pdf]. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 20(3). <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2021.0961>
- Kunze, W. (2014). *Technology Brewing and Malting* (5th ed.). VLB Berlin.
- Laffort. (2018). *L'oenologie par nature*. Recuperado de www.laffort.com.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. BOE núm. 276, de 18 de noviembre de 2003.
- Liu, L., Wang, J., Rosenberg, D., Zhao, H., Lengyel, G., y Nadel, D. (2018). Fermented beverage and food storage in 13,000 y-old stone mortars at Raqefet Cave, Israel: Investigating Natufian ritual feasting. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21, 783–793. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.008>
- López, A., Martínez, C., y Ramírez, J. (2020). The economic impact of small and medium enterprises in rural development. *Journal of Rural Studies*, 77, 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.05.001>
- Martínez, P., Gómez, L., y Sáez, J. (2021). *Mantenimiento y eficiencia de maquinaria en procesos industriales*. Editorial Técnica.
- McKeever, J. (2020). *Small Business Financial Management*. Routledge.
- Meyer, C. H., y Dufour, J. P. (2018). Yeast strains for the production of sparkling wines: A review of the main characteristics and selection criteria. *Food Microbiology*, 73, 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.010>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023). *Informe anual del consumo*

alimentario 2023.

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). El secretario general de Recursos Agrarios y Seguridad Alimentaria destaca la relevancia económica del sector cervecero español y su importancia en el medio rural. Recuperado de <https://www.mapa.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-secretario-general-de-recursos-agrarios-y-seguridad-alimentaria-destaca-la-relevancia-econ%C3%B3mica-del-sector-cervecero-espa%C3%B1ol-y-su-importancia/tcm%3A30-684670>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2005). Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2023). Zonas de uso industrial. <https://www.miteco.gob.es>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2025). Precios de gas butano en España. <https://www.miteco.gob.es>
- Mironescu, M., y Nour, V. (2015). Physical and technological properties of different malting barley varieties. *Romanian Biotechnological Letters*, 20(2), 10343-10350.
- Mordor Intelligence. (2023). Mercado europeo de la cerveza artesanal. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/europe-craft-beer-market>
- Niu, C., Han, Y., Wang, J., Zheng, F., Liu, C., Li, Y., y Li, Q. (2018). Malt derived proteins: Effect of protein Z on beer foam stability. *Food Bioscience*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.07.003>
- O'Rourke, T. (2002). The role of oxygen in brewing. *The Brewer International*, 2(3), 45–47.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Global Status Report on Alcohol and Health.
- Palmer, J. J. (2013). *Water: A comprehensive guide for brewers*
- Parr, H., Bolat, I., y Cook, D. (2021). Modelling flavour formation in roasted malt substrates under controlled conditions of time and temperature. *Food Chemistry*, 337. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127641>
- Red Eléctrica de España. (2023). Tarifas eléctricas en España. <https://www.ree.es>

- Reglamento (CE) 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor.
- Reglamento (CE) No 852/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 sobre la higiene de los productos alimenticios. <https://www.boe.es>
- Rodríguez Porro, L. (2019). *Estudio de viabilidad de una cervecería artesana: Cervecería Nomar*. Universidad de Valladolid. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/38719>
- Rosales, A., Talaverano, M. I., Lozano, J., Sánchez-Vicente, C., Santamaría, Ó., García-Latorre, C., y Rodrigo, S. (2021). Craft beer vs industrial beer: chemical and sensory differences. *British Food Journal*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2021-0074>
- Roth, Wolfgang. (2006). Cooking of lauter wort in a wort pan for brewing beer, comprises directly supplying the lauter wort in a wort pan by a lauter tun, heating the lauter wort taken from the pan and supplying the heated lauter wort into the wort pan.
- Salanță, L. C., Coldea, T. E., Ignat, M. V., Pop, C. R., Tofană, M., Mudura, E., Borșa, A., Pasqualone, A., y Zhao, H. (2020). Non-Alcoholic and Craft Beer Production and Challenges. *Processes*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/pr8111382>
- Sanchís, V., Orive, M. y Ramos, A. (2000). *La cerveza: aspectos microbiológicos*. España: DL 2000
- Seguridad Social. (2024). *Tarifa plana para nuevos autónomos*. Ministerio de Inclusión, Seguridad Social y Migraciones. Recuperado de <https://www.seg-social.es/wps/portal/wss/internet/Trabajadores/CotizacionRecaudacionTrabajadores/36235>
- Smith, A. (2018). The Financial Flexibility of Self-Funded Startups. *Entrepreneurial Finance Journal*.
- Strong, G., y England, K. (2015). Beer judge certification program 2015 style guidelines. <http://www.bjcp.org/stylecenter.php>
- Tanchoco, J. (2017). *Facility Design: A Practical Approach*. Wiley.
- The Brewers of Europe. (2020). *European Beer Trends - Statistic Report 2020 Edition*. <https://brewersofeurope.org/uploads/mycms-files/documents/publications/2020/european-beer-trends-2020.pdf>

Unión Europea. (2019). Rural Development: The role of local enterprises in enhancing economic growth.

Urrutia, Y.A. (2004). Balance de energía y exergía para el sistema de calentamiento de jugo en un ingenio de azúcar.

White, C. (2010). Yeast (Brewing Elements).

WHO. (2018). Global status report on alcohol and health 2018. Geneva: World Health Organization; 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Willaert, Ronnie. (2007). The beer brewing process: Wort production and beer. In Handbook of Food Products Manufacturing (Vol. 2, pp. 443–490).

World Health Organization. (2018). Alcohol consumption and health: A public health approach.

13. ANEXO I

Documento APPCC	Código:	Doc-APPCC-25
	Nº versión:	1
	Fecha:	22/02/2025
Elaboró: Samuel Oliveros	Revisión:	
Fecha: 22/02/2025	Fecha:	

ÍNDICE

- 1- Formación del equipo de trabajo
- 2- Definición del alcance del Plan APPCC
- 3- Descripción del producto y uso esperado
- 4- Diagrama de flujo
- 5- Análisis de peligros

1. Formación del equipo de trabajo

Responsable del Plan de Autocontrol: Samuel Oliveros, propietario.
Responsable de Registros y Documentación: Inés Oliveros, socia.

2. Definición del alcance del Plan APPCC

- **Peligros:** físicos, biológicos y químicos.
- **Producto:** cerveza artesanal embotellada.
- **Proceso:** recepción de materias primas, limpieza de cebada, remojo de cebada, germinación, secado y tostado, molienda, cocción del mosto, filtrado, fermentación, maduración, embotellado, almacenamiento, distribución.

Documento APPCC	Código:	Doc-APPCC-25
	Nº versión:	1
	Fecha:	22/02/2025
Elaboró: Samuel Oliveros	Revisión:	
Fecha: 22/02/2025	Fecha:	

Descripción del producto y uso esperado

- **Denominación del producto:** cerveza artesanal.
- **Descripción del producto:**
 - **Formato y presentación del envase:**
 - Venta al por menor: cerveza artesanal embotellada en botellas de vidrio de 0.5 L.
 - Venta por internet: cerveza artesanal embotellada en botellas de vidrio de 0.5 L, enviada en cajas adecuadas para su transporte.
 - Venta canal HORECA: barriles de cerveza artesanal para restaurantes, bares y otros establecimientos.
 - Venta a otros establecimientos: botellas de vidrio o barriles entregados directamente desde la fábrica.
 - **Tratamientos tecnológicos:** fermentación, filtrado, embotellado y carbonatación en botella.
 - **Indicaciones relevantes en el etiquetado:** temperatura de almacenamiento, fecha de consumo preferente, identificación del lote.
 - **Vida útil:** 2 años si el envase no está abierto.
 - **Condiciones de conservación:** refrigeración entre 4 °C – 10 °C.
 - **Lugares de venta:** tienda propia, internet, bares, restaurantes, tiendas de terceros.
 - **Ciente al que está dirigido:** profesionales de la restauración, venta al por menor, público general.
 - **Forma en la que el consumidor hace uso del producto:** consumo directo como bebida alcohólica, previo enfriamiento adecuado.
- **Características relevantes del producto:**
 - **Características físico-químicas:**
 - pH: 4.2-4.6
 - aW: 0.90
 - **Características organolépticas:**
 - Color: variable según el tipo de cerveza (rubia, tostada, negra).
 - Sabor: característico del estilo de cerveza (amargo, afrutado, dulce).
 - **Características biológicas:**
 - Microbiota endógena: levaduras de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), posibles contaminantes como *Lactobacillus spp.* y *Pediococcus spp.*

Documento APPCC	Código:	Doc-APPCC-25
	Nº versión:	1
	Fecha:	22/02/2025
Elaboró: Samuel Oliveros	Revisión:	
Fecha: 22/02/2025	Fecha:	

Diagrama de flujo



Figura 1; Diagrama de flujo del proceso productivo.

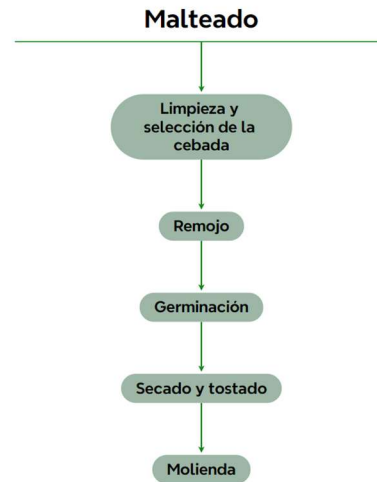


Figura 2; Diagrama de las fases del malteado

Documento APPCC	Código:	Doc-APPCC-25
	Nº versión:	1
	Fecha:	22/02/2025
Elaboró: Samuel Oliveros	Revisión:	
Fecha: 22/02/2025	Fecha:	

Confirmación in situ del diagrama de flujo

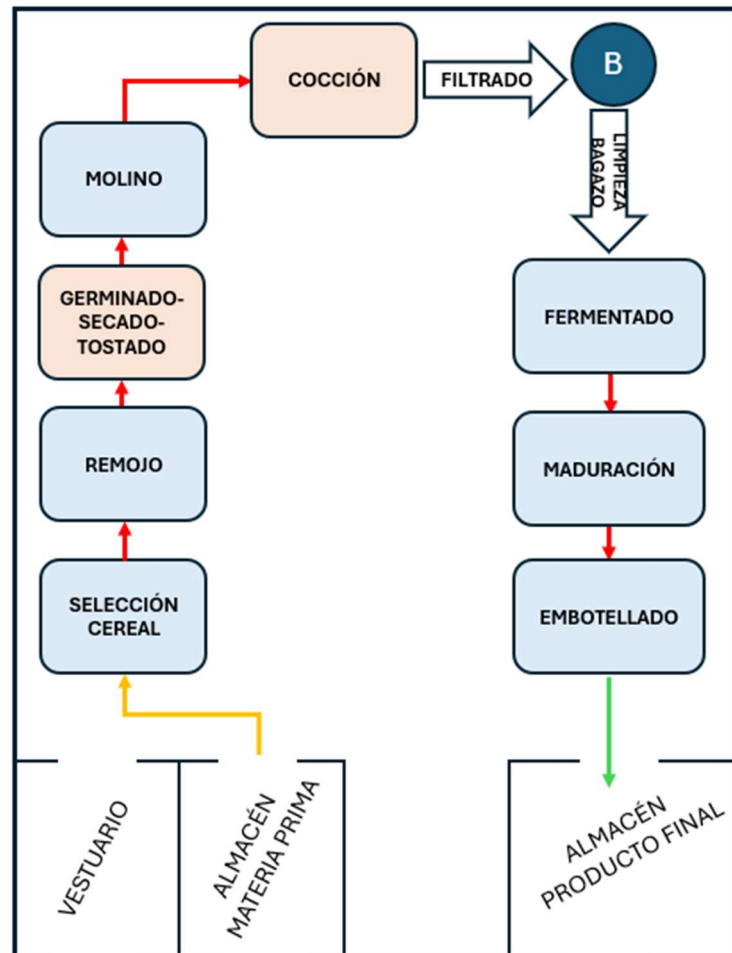


Figura 2: Plano de las instalaciones.

En el plano adjunto en la Figura 2, se detalla el recorrido del producto a través de las instalaciones. Aunque existe una posible intersección de flujos de materias primas y productos terminados, debido al bajo volumen de producción, se implementa una separación temporal de las operaciones para evitar contaminación cruzada. Las áreas de almacenamiento están físicamente separadas para albergar tanto las materias primas como los productos finales. El producto terminado, envasado en botellas, está protegido contra contaminaciones gracias al proceso de embotellado que se realiza bajo condiciones higiénicas controladas.

Aunque el tamaño de las instalaciones es reducido, cumplen con todos los estándares de higiene y seguridad alimentaria, ajustándose al volumen de producción de la cervecería. Se cumplen todos los requisitos legales para instalaciones de esta índole, y se trabaja de

Documento APPCC	Código:	Doc-APPCC-25
	Nº versión:	1
	Fecha:	22/02/2025
Elaboró: Samuel Oliveros	Revisión:	
Fecha: 22/02/2025	Fecha:	

acuerdo con las buenas prácticas de manipulación e higiene, respaldadas por el sistema de autocontrol establecido, lo que garantiza una producción segura y de calidad.

Análisis de peligros

Se analizan los posibles peligros físicos, biológicos y químicos en cada etapa del proceso de producción, como la contaminación por partículas, la proliferación de bacterias en la fermentación o residuos de limpieza en el embotellado. En el análisis de peligros se indican los documentos de higiene que controlan cada uno de estos peligros.

ANÁLISIS DE PELIGROS: DIAGRAMA DE FLUJO COMPLETO

RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	P1	Arbol de decisiones				PPRO/PCC
					P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de esquirlas metálicas	Incorrecta limpieza del proveedor	PH-MIME-25, PH-CT-25	No	No	x	x	x	PPRO
	Presencia de piedras	Incorrecta limpieza del proveedor	Buenas prácticas de transporte	No	No				PPRO
Químico	Contaminación por gases tóxicos	Inhalación de humos de transporte, mal estado del transporte	Buenas prácticas de transporte, PH-CT	No	No				PPRO
	Residuos de LyD del transporte	Presencia de residuos de LyD en el transporte	PH-LyD-25	Si		No	No		PPRO
Biológico	Contaminación por patógenos	Incorrecta limpieza del transporte del proveedor	Buenas prácticas de transporte, PH-LyD-25	Si		No	No		PPRO

LIMPIEZA DE CEBADA

Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	P1	Arbol de decisiones				PPRO/PCC
					P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25, posterior procesado	No	No	x	x	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD de las instalaciones	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	No	No	x	x	x	PPRO
	Marcado incorrecto de los lotes	Incorrecta trazabilidad	PH-HP-25, PH-LP-25, PH-T-25	No	No	x	x	x	PPRO
Biológico	Contaminación cruzada	Mala LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	No	No	x	x	x	PPRO
	Germinación de esporas fúngicas	Mala LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25, PH-LP-25	No	No	x	x	x	PPRO

REMOJO DE CEBADA

Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	P1	Arbol de decisiones				PPRO/PCC
					P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25, posterior procesado	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD del transporte	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
	Contaminación cruzada de contaminantes ambientales	Presencia de contaminantes ambientales en el agua	PH-HP-25, PH-LP-25, PH-CA-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Multiplicación de patógenos presentes	Malas prácticas	PH-HP-25, PH-LP-25, PH-CT-25	Si	x	No	No	x	PPRO

GERMINACIÓN									
Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	Arbol de decisiones					PPRO/PCC
				P1	P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25, posterior procesado	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD de las instalaciones	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Contaminación cruzada por patógenos	Mala LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
	Contaminación por organismos generantes de plagas	Mala LyD en las instalaciones	Buenas prácticas de transporte, PH-CP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
	Multiplicación de patógenos presentes	Mal control de temperatura	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO

SECADO Y TOSTADO									
Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	Arbol de decisiones					PPRO/PCC
				P1	P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25, posterior procesado	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD de las instalaciones	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
	Contaminación cruzada de contaminantes ambientales	Presencia de contaminantes ambientales en la zona de descarga	PH-HP-25, PH-LP-25, apagar el motor del transporte	Si	x	No	No	x	PPRO
	Creación de acrilamidas y compuestos indeseados	Incorrecto control de temperaturas	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Multiplicación de patógenos presentes	Presencia de patógenos termorresistentes	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO

MOLIENDA									
Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	Arbol de decisiones					PPRO/PCC
				P1	P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos procedentes de las instalaciones (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25, posterior procesado	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD de las instalaciones	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
	Contaminación cruzada de contaminantes con otros lotes	Deficiente LyD	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Contaminación cruzada por patógenos	Mala LyD en las instalaciones	PH-LyD-25	Si	x	No	No	x	PPRO
	Multiplicación de patógenos presentes	Incorrecto secado de la malta	PH-MIME-25, PH-FBPM-25	Si	x	No	No	x	PPRO

COCCIÓN DEL MOSTO									
Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	Arbol de decisiones					PPRO/PCC
				P1	P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos procedentes de las instalaciones (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-MIME-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD de las instalaciones	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-LyD-25	Si	x	No	No	x	PPRO
	Liberación de metales pesados	Mal estado de las instalaciones	PH-LyD-25, PH-CA-25+A96	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Contaminación cruzada por patógenos	Mala LyD en las instalaciones	PH-LyD-25, PH-FBPM-25	Si	x	No	No	x	PPRO
	Multiplicación de patógenos presentes	Incorrecto tratamiento (lento, a temperaturas altas...)	PH-FBPM-25, PH-CT-25	Si	x	No	No	x	PPRO

FILTRADO									
Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	Arbol de decisiones					PPRO/PCC
				P1	P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos procedentes de las instalaciones (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-MIME-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD de las instalaciones	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-LyD-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Contaminación cruzada por patógenos	Mala LyD en las instalaciones, presencia de patógenos en el sazonador	PH-LyD-25, PH-FBPM-25, PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO

FERMENTACIÓN									
Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	Arbol de decisiones					PPRO/PCC
				P1	P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos procedentes de las instalaciones (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-MIME-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD de las instalaciones	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Desarrollo de bacterias indeseables	Incorrecta manipulación (lento, a temperaturas altas...)	PH-FBPM-25, PH-CT-25	Si	x	No	No	x	PPRO

MADURACIÓN									
Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	Arbol de decisiones					PPRO/PCC
				P1	P1.1	P2	P3	P4	
Físico	Presencia de peligros físicos procedentes de las instalaciones (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-MIME-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Contaminación por residuos de LyD de las instalaciones	Presencia de residuos de LyD en las instalaciones	PH-HP-25, PH-LP-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Multiplicación de patógenos presentes	Incorrecta manipulación (lento, a temperaturas altas...)	PH-FBPM-25, PH-CT-25	Si	x	No	No	x	PPRO

EMBOTELLADO Y FERMENTACIÓN EN BOTELLA									
Tipo de peligro	Peligro	Causa del peligro	Medidas preventivas	Arbol de decisiones					PPRO/PCC
				P1	P1.1	P2	P3	P4	
Físicos	Presencia de peligros físicos procedentes de las instalaciones (trozos metálicos, cristales, plásticos...)	Mal estado de las instalaciones	PH-MIME-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Químico	Incorrecta trazabilidad	Etiquetado incorrecto	PH-FBPM-25, PH-T-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Biológico	Multiplicación de patógenos presentes	Incorrecta manipulación (lento, a temperaturas altas...)	PH-FBPM-25, PH-CT-25	Si	x	No	No	x	PPRO
Otros	Rotura de envase	Peligros físicos	PH-FBPM-25	Si	x	No	No	x	PPRO

14. ANEXO II

Definición de la ecuación estequiométrica de la fermentación*Balances elementales**Carbono*

$$6 = c + d + 2 \cdot f$$

Hidrógeno

$$12 + 3 \cdot b = 1,8 \cdot c + 2 \cdot e + 6 \cdot f$$

Oxígeno

$$6 = 0,5 \cdot c + 2 \cdot d + e + f$$

Nitrógeno

$$b = 0,2 \cdot c$$

*Rendimiento del etanol a partir de glucosa**Datos:*

$$P_{mGlu} = 180,16 \quad \text{Peso molecular de la glucosa (g/mol)}$$

$$P_{mEtOH} = 46,07 \quad \text{Peso molecular del etanol (g/mol)}$$

$$B = 0,91 \quad \text{Eficiencia del 91\% (se puede modificar este valor entre 0,87 y 0,95)}$$

$$Y_{ps} = B \cdot 0,511 \quad \text{Rendimiento real basado en el rendimiento teórico del 51,1\%}$$

Definiendo f (etanol) con base en el rendimiento Yps

$$f = \frac{Y_{ps} \cdot P_{mGlu}}{P_{mEtOH}}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones

$$c = 6 - d - 2 \cdot f$$

$$e = 12 + 3 \cdot B - 1,8 \cdot c - 6 \cdot f$$

$$d = 6 - 0,5 \cdot c - e - f$$

SOLUTION**Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg**

$$B = 0,91$$

$$e = 2,253$$

$$P_{mGlu} = 180,2$$

$$c = 0,8699$$

$$f = 1,818$$

$$Y_{ps} = 0,465$$

$$d = 1,493$$

$$P_{mEtOH} = 46,07$$

No unit problems were detected.

Este programa define el balance de materia para cada etapa del proceso de elaboración de cerveza utilizando EES

Definición de variables iniciales

$$m1 = 100 \text{ kg de cebada inicial con 12\% humedad}$$

$$\text{humedad}_{\text{inicial}} = 0,12 \text{ Fracción de humedad en la cebada inicial}$$

$$\text{impurezas} = 0,01 \cdot m1 \text{ kg de impurezas eliminadas}$$

LIMPIEZA Y SELECCIÓN DE CEBADA

$$m2 = m1 - \text{impurezas} \text{ kg de cebada limpia después de eliminar impurezas}$$

REMOJO

$$\text{granos}_{\text{flotantes}} = 0,002 \cdot m2$$

$$\text{agua}_{\text{absorbida}} = (m2 - \text{granos}_{\text{flotantes}}) \cdot \left[\frac{0,4 - \text{humedad}_{\text{inicial}}}{1 - \text{humedad}_{\text{inicial}}} \right]$$

$$m3 = m2 - \text{granos}_{\text{flotantes}} + \text{agua}_{\text{absorbida}}$$

GERMINACIÓN

$$\text{perdida}_{\text{respiracion}} = 0,04 \cdot m3$$

$$m4 = m3 - \text{perdida}_{\text{respiracion}}$$

SECADO Y TOSTADO

$$\text{humedad}_{\text{final;malta}} = 0,05$$

$$\text{agua}_{\text{eliminada}} = m4 \cdot 0,4 - m4 \cdot \text{humedad}_{\text{final;malta}}$$

$$m5 = m4 - \text{agua}_{\text{eliminada}}$$

MOLIENDA

$$\text{perdida}_{\text{molienda}} = 0,005 \cdot m5$$

$$m6 = m5 - \text{perdida}_{\text{molienda}}$$

COCCIÓN

$$\text{agua}_{\text{coccion}} = 531,5 \text{ L ajustado para obtener 500 L finales}$$

$$\text{lupulo} = 0,75$$

$$\text{agua}_{\text{evaporada}} = 0,1 \cdot \text{agua}_{\text{coccion}}$$

$$m7 = m6 + \text{agua}_{\text{coccion}} + \text{lupulo} - \text{agua}_{\text{evaporada}}$$

$$v7 = \text{agua}_{\text{coccion}} - \text{agua}_{\text{evaporada}}$$

FILTRACIÓN

$$\text{agua}_{\text{lavado}} = 50$$

$$\text{bagazo} = m6 \cdot 0,4$$

$$\text{agua}_{\text{perdida;filtracion}} = 5$$

$$m8 = m7 + \text{agua}_{\text{lavado}} - \text{bagazo} - \text{lupulo} - \text{agua}_{\text{perdida;filtracion}}$$

$$v8 = v7 - \text{agua}_{\text{perdida;filtracion}} + \text{agua}_{\text{lavado}}$$

FERMENTACIÓN

$$\text{levadura}_{\text{ferm}} = 5,05$$

$$\text{CO2}_{\text{producido}} = 0,02 \cdot m8$$

$$m9 = m8 + \text{levadura}_{\text{ferm}} - \text{CO2}_{\text{producido}}$$

$$v9 = v8 - 0,02 \cdot v8$$

MADURACIÓN

$$\text{sedimentos} = 0,005 \cdot m9$$

$$m10 = m9 - \text{sedimentos}$$

$$v10 = v9 - 0,005 \cdot v9$$

ENVASADO

$$\text{azucar} = 7 \cdot \frac{m10}{1000}$$

$$\text{levadura}_{\text{env}} = 0,25$$

$$\text{perdidas}_{\text{env}} = 0,02 \cdot m10$$

$$\text{perdidas}_{\text{env;v}} = 0,02 \cdot v10$$

$$m11 = m10 + \text{azucar} + \text{levadura}_{\text{env}} - \text{perdidas}_{\text{env}}$$

$$v11 = v10 - \text{perdidas}_{\text{env;v}}$$

FERMENTACIÓN EN BOTELLA

$$m_{\text{final}} = m11$$

$$v_{\text{final}} = v11 \quad \text{Este valor ahora es exactamente 500 L}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$$\text{agua}_{\text{absorbida}} = 31,44$$

$$\text{agua}_{\text{eliminada}} = 43,76$$

$$\text{agua}_{\text{lavado}} = 50$$

$$\text{azucar} = 3,939$$

$$\text{CO2}_{\text{producido}} = 11,44$$

$$\text{humedad}_{\text{final,malta}} = 0,05$$

$$\text{impurezas} = 1$$

$$\text{levadura}_{\text{ferm}} = 5,05$$

$$m1 = 100$$

$$m11 = 555,6$$

$$\text{agua}_{\text{coccion}} = 531,5$$

$$\text{agua}_{\text{evaporada}} = 53,15$$

$$\text{agua}_{\text{perdida,filtracion}} = 5$$

$$\text{bagazo} = 32,35$$

$$\text{granos}_{\text{flotantes}} = 0,198$$

$$\text{humedad}_{\text{inicial}} = 0,12$$

$$\text{levadura}_{\text{env}} = 0,25$$

$$\text{lupulo} = 0,75$$

$$m10 = 562,7$$

$$m2 = 99$$

m3 = 130,2

m5 = 81,27

m7 = 560

m9 = 565,5

perdidas_{env} = 11,25

perdida_{molienda} = 0,4063

sedimentos = 2,827

v11 = 500,1

v8 = 523,4

v_{final} = 500,1

m4 = 125

m6 = 80,86

m8 = 571,9

m_{final} = 555,6

perdidas_{env,v} = 10,21

perdida_{respiracion} = 5,21

v10 = 510,3

v7 = 478,4

v9 = 512,9

No unit problems were detected.

*Balance de energía para el proceso de producción de cerveza**DATOS GENERALES*

$$Cp_{\text{agua}} = 4,18 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]} \text{ Calor específico del agua}$$

$$Cp_{\text{malta}} = 1,6 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]} \text{ Calor específico de la malta estimado}$$

$$Cp_{\text{cerveza}} = 4,02 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]} \text{ Calor específico de la cerveza}$$

$$\text{Poder}_{\text{calorífico;butano}} = 49,1 \text{ [MJ/kg]} \text{ Poder calorífico del butano}$$

REMOJO DE LA CEBADA

$$T_{\text{inicial;remojo}} = 15 \text{ [C]} \text{ Temperatura inicial del remojo}$$

$$T_{\text{final;remojo}} = 15 \text{ [C]} \text{ Temperatura final del remojo}$$

$$m_1 = 50 \text{ [kg]} \text{ Agua utilizada en el remojo}$$

$$m_2 = 99 \text{ [kg]} \text{ Cebada después de la limpieza}$$

Como la temperatura no cambia, no hay transferencia de calor

$$Q_{\text{remojo}} = 0 \text{ [kJ]}$$

GERMINACIÓN

$$T_{\text{germinación}} = 20 \text{ [C]} \text{ Temperatura de la germinación}$$

$$m_3 = m_2 + m_1 \text{ Cebada humedecida después del remojo}$$

$$Q_{\text{germinación}} = m_3 \cdot Cp_{\text{malta}} \cdot (T_{\text{germinación}} - T_{\text{final;remojo}})$$

SECADO Y TOSTADO

$$T_{\text{presecado}} = 40 \text{ [C]} \text{ Temperatura de presecado}$$

$$T_{\text{secado}} = 75 \text{ [C]} \text{ Temperatura de secado}$$

$$T_{\text{tostado}} = 90 \text{ [C]} \text{ Temperatura de tostado}$$

$$m_4 = 97,1 \text{ [kg]} \text{ Malta después del secado}$$

$$Q_{\text{presecado}} = m_4 \cdot Cp_{\text{malta}} \cdot (T_{\text{presecado}} - T_{\text{germinación}})$$

$$Q_{\text{secado}} = m_4 \cdot Cp_{\text{malta}} \cdot (T_{\text{secado}} - T_{\text{presecado}})$$

$$Q_{\text{tostado}} = m_4 \cdot Cp_{\text{malta}} \cdot (T_{\text{tostado}} - T_{\text{secado}})$$

$$Q_{\text{total;secado}} = Q_{\text{presecado}} + Q_{\text{secado}} + Q_{\text{tostado}}$$

COCCIÓN DEL MOSTO

$$T_{\text{inicial;agua;cocción}} = 15 \text{ [C]}$$

$$T_{\text{maceración}} = 70 \text{ [C]} \text{ Temperatura de maceración}$$

$$T_{\text{cocción}} = 100 \text{ [C]} \text{ Temperatura de cocción}$$

$$m_5 = 500 \text{ [kg]}$$

Agua utilizada en la cocción

$$m_6 = m_4 \text{ *Malta utilizada en la cocción*}$$

$$Q_{\text{maceracion}} = (m_5 \cdot C_{p_{\text{agua}}} + m_6 \cdot C_{p_{\text{malta}}}) \cdot (T_{\text{maceracion}} - T_{\text{inicial;agua;cocción}})$$

$$Q_{\text{coccion}} = (m_5 \cdot C_{p_{\text{agua}}} + m_6 \cdot C_{p_{\text{malta}}}) \cdot (T_{\text{coccion}} - T_{\text{maceracion}})$$

$$Q_{\text{total;coccion}} = Q_{\text{maceracion}} + Q_{\text{coccion}}$$

CONSUMO DE GAS BUTANO PARA LA COCCIÓN

$$m_{\text{butano}} = \frac{Q_{\text{total;coccion}}}{\text{Poder}_{\text{calorifico;butano}} \cdot 1000} \text{ *Conversión a MJ*}$$

$$V_{\text{butano}} = \frac{m_{\text{butano}}}{2,522} \cdot 1000 \text{ [L] *Conversión a volumen de butano*}$$

ENFRIAMIENTO DEL MOSTO

$$T_{\text{enfriamiento}} = 10 \text{ [C] *Temperatura de enfriamiento*}$$

$$m_7 = 450 \text{ [kg] *Mosto después de la cocción*}$$

$$Q_{\text{enfriamiento}} = m_7 \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot (T_{\text{enfriamiento}} - T_{\text{coccion}})$$

*FERMENTACIÓN Y MADURACIÓN**Se considera la energía liberada por la fermentación*

$$T_{\text{maduracion}} = 4 \text{ [C] *Temperatura de maduración*}$$

$$m_8 = m_7 \text{ *Mosto en fermentación*}$$

$$\delta H_{\text{fermentacion}} = -118 \text{ [kJ/mol] *Energía liberada por la fermentación de 1 mol de glucosa*}$$

$$Mm_{\text{glucosa}} = 180 \text{ [g/mol] *Masa molar de la glucosa*}$$

Se calcula la cantidad de glucosa en el mosto

$$m_{\text{glucosa}} = 86,2 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \text{ *Masa de glucosa en kg*}$$

$$n_{\text{glucosa}} = \frac{m_{\text{glucosa}}}{Mm_{\text{glucosa}}} \text{ *Moles de glucosa consumidos*}$$

$$Q_{\text{fermentacion}} = n_{\text{glucosa}} \cdot \delta H_{\text{fermentacion}} \text{ *Energía liberada durante la fermentación*}$$

$$Q_{\text{maduracion}} = m_8 \cdot C_{p_{\text{cerveza}}} \cdot (T_{\text{maduracion}} - T_{\text{enfriamiento}})$$

$$Q_{\text{Fermentación;total}} = Q_{\text{fermentacion}} + Q_{\text{maduracion}} \text{ *Energía total de la fermentación*}$$

FERMENTACIÓN EN BOTELLA

$$T_{\text{fermentacion;botella}} = 15 \text{ [C] *Temperatura de fermentación en botella*}$$

$$m_9 = m_8 \text{ *Cerveza lista para embotellado*}$$

$$Q_{\text{fermentacion;botella}} = m_9 \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot (T_{\text{fermentacion;botella}} - T_{\text{maduracion}})$$

BALANCE TOTAL DE ENERGÍA

$$Q_{\text{total}} = |Q_{\text{remojo}}| + |Q_{\text{germinacion}}| + |Q_{\text{total;secado}}| + |Q_{\text{total;coccion}}| + |Q_{\text{enfriamiento}}| + |Q_{\text{Fermentación;total}}|$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

Cp_{agua} = 4,18 [kJ/kg*K]
 Cp_{malta} = 1,6 [kJ/kg*K]
 M_{mglucosa} = 180 [g/mol]
 m₂ = 99 [kg]
 m₄ = 97,1 [kg]
 m₆ = 97,1
 m₈ = 450
 m_{butano} = 3,887
 n_{glucosa} = 0,2394
 Q_{coccion} = 67361
 Q_{fermentacion} = -28,25
 Q_{Fermentación,total} = -10882
 Q_{maceracion} = 123495
 Q_{presecado} = 3107
 Q_{secado} = 5438
 Q_{total} = 383095
 Q_{total,secado} = 10875
 T_{enfriamiento} = 10 [C]
 T_{final,remojo} = 15 [C]
 T_{inicial,agua,cocción} = 15 [C]
 T_{maceracion} = 70 [C]
 T_{presecado} = 40 [C]
 T_{tostado} = 90 [C]

Cp_{cerveza} = 4,02 [kJ/kg*K]
 δH_{fermentacion} = -118 [kJ/mol]
 m₁ = 50 [kg]
 m₃ = 149
 m₅ = 500 [kg]
 m₇ = 450 [kg]
 m₉ = 450
 m_{glucosa} = 43,1 [g/mol]
 Poder_{calorifico, butano} = 49,1 [MJ/kg]
 Q_{enfriamiento} = -169290
 Q_{fermentacion,botella} = 20691
 Q_{germinacion} = 1192
 Q_{maduracion} = -10854
 Q_{remojo} = 0 [kJ]
 Q_{tostado} = 2330
 Q_{total,coccion} = 190856
 T_{coccion} = 100 [C]
 T_{fermentacion,botella} = 15 [C]
 T_{germinacion} = 20 [C]
 T_{inicial,remojo} = 15 [C]
 T_{maduracion} = 4 [C]
 T_{secado} = 75 [C]
 V_{butano} = 1541

16 potential unit problems were detected.