



**Ingeniería Electrónica**

**Proyecto Final**

# **Automatización de Elaboración de Cerveza Artesanal**

*Autor/es*

**Emmanuel Sosa**

**Luciano Cabrera Romero**

**Tomás Doré**

*Director o Tutor*

**Mg. Guillermo R. Friedrich**

**Ing. Adrian H. Laiuppa**

**Bahía Blanca | 12 de diciembre de 2023**

## Contenido

Resumen.....	4
Introducción .....	5
Objetivo .....	6
Marco Teórico.....	6
Materias primas.....	7
Agua.....	7
Malta .....	10
Lúpulo .....	11
Levadura .....	13
Otros Ingredientes.....	15
Procesos de la elaboración.....	18
Maceración.....	18
Lavado de granos .....	21
Hervido .....	21
Enfriado.....	23
Fermentación.....	24
Maduración .....	25
Envasado .....	26
Diagrama en Bloques .....	27
Hardware.....	29
Soporte del sistema .....	29
Tolva .....	30
Válvulas Motorizadas .....	31
Balanza y Dosificador de Lúpulos .....	32
Diseño del esquemático .....	34
Firmware.....	35
Diagrama de comunicaciones entre procesadores y IO .....	35
Comunicación entre microprocesadores (Puerto Serie).....	36
Comunicación WIFI.....	36
Pulsador de emergencia a través de interrupción.....	37
Ejemplo de función de calentado y macerado. ....	38
Control de fuego Microprocesador 2 .....	39
Diseño del PCB.....	41
Conexionado .....	42
Problemas detectados.....	43

Conclusión Final ..... 44

# Resumen

En este proyecto, nos enfocamos en el diseño e implementación de un sistema que automatiza el proceso de elaboración de cerveza artesanal. Está orientado para clientes que se dediquen a la producción de cerveza a pequeña escala. El objetivo principal es proporcionar a los usuarios una herramienta que facilite su trabajo. También darles la posibilidad a grandes productores de realizar pruebas de producción a pequeña escala, este enfoque tiene una relevancia crucial, ya que las grandes fábricas de cerveza a menudo carecen de pequeños equipos (batch 20L) para experimentar con nuevos estilos de cerveza.

A través de este desarrollo, la posibilidad de llevar a cabo pruebas a menor escala no solo facilita la exploración de nuevos estilos de cerveza, sino que también ofrece la ventaja de ajustar y perfeccionar las recetas de manera más eficiente. Los usuarios pueden gestionar de manera eficiente los tiempos de cocción, las temperaturas y la cantidad de insumos utilizados en la elaboración de la cerveza, liberándolos de la preocupación por los detalles del proceso.

Con esta iniciativa, buscamos no solo simplificar el proceso de elaboración de cerveza artesanal, sino también mejorar la experiencia del usuario, permitiéndoles centrarse en la creatividad y el disfrute de su pasión por la cerveza casera, mientras el sistema se encarga de la ejecución precisa y controlada de cada fase del proceso

**Palabras Claves:** Cerveza artesanal – Procesos – Automatización – Industria.

# Introducción

En la actualidad, las cervezas artesanales están ganando mercado frente a las industriales. El proceso para su elaboración no es muy complejo, pero requiere de un minucioso control de temperaturas y tiempos.

Hoy en día existen micro emprendimientos que ofrecen kits para la elaboración de cerveza artesanal en el hogar para una producción de 20 litros, con los que se pueden lograr buenos resultados si la persona que fabrica la cerveza casera le dedica 100% del tiempo al proceso para garantizar la correcta producción de esta.

La producción se organiza en tres procesos fundamentales: calentado, macerado y hervido. Cada uno de estos procesos, a su vez, implica la ejecución de subprocesos específicos para garantizar la calidad del producto final.

En el proceso de macerado, se llevan a cabo dos subprocesos esenciales: el recirculado y el lavado de granos. Estos pasos son críticos para lograr la extracción eficiente de los compuestos esenciales de los granos y garantizar la consistencia en el sabor y la textura de la cerveza.

En el proceso de hervido, se incorpora el subproceso de lupulado, que desencadena la adición de lúpulos en momentos específicos. Este subproceso contribuye de manera significativa a la definición del perfil aromático y amargor de la cerveza, añadiendo complejidad y carácter al producto final.

Una consideración tenida en cuenta fue el uso de electricidad y garrafa, debido a su mejor control, costos, menores regulaciones, la no necesidad de certificaciones por gasistas matriculados y por un calentamiento más homogéneo.

La programación de software en este proyecto abarca la capacidad de elaborar dos tipos distintos de cerveza, los cuales se preseleccionan en el transcurso del proceso. Cada variante de cerveza posee particularidades específicas que deben ser rigurosamente seguidas para garantizar la preservación del sabor y la calidad del producto final.

En cuanto a la parte electrónica y mecánica, se han tenido que desarrollar e inventar soportes en 3D para controlar el torque de los servomotores, además de piezas para el pesaje y el arrojamiento de lúpulos. Se programaron, sensores de temperatura, sensores de llama, servomotores, celda de carga, caudalímetros, accionamiento de chisperos y de motor de continua para poder llevar a cabo el proyecto de manera eficiente y segura.

# Objetivo

El propósito central de este proyecto es proporcionar a los futuros clientes la oportunidad de establecer su propia fábrica de cerveza artesanal automatizada en la comodidad de sus hogares. Dada la creciente demanda por la producción casera de cerveza artesanal en nuestro país, nuestro sistema se presenta como una solución innovadora que elimina la necesidad de que los usuarios supervisen constantemente el proceso de producción.

Este enfoque automatizado no solo simplifica la operación, sino que también garantiza un uso eficiente de los materiales empleados en la producción. La consistencia en la calidad es fundamental, ya que nuestro sistema asegura que cada lote de cerveza mantenga las mismas características, proporcionando a los usuarios la confianza de obtener un producto final de alta calidad de manera constante. Con esta propuesta, buscamos facilitar y mejorar la experiencia de aquellos que desean aventurarse en la elaboración de cerveza artesanal en sus propios hogares.

Por lo tanto, la automatización nos brindara:

- Mejoras significativas en la calidad de la cerveza.
- Aumento notable del rendimiento en el proceso de producción.
- Optimización eficaz de los tiempos y resultados en la producción.
- Inversión inicial más accesible en comparación con las posibles ganancias.
- Utilización eficiente y optimización de los recursos empleados.

A su vez se proveen las recetas que se soliciten (dos) con las cantidades exactas de lúpulos y malta que el usuario necesite para lograr cocciones de 20L.

El equipo de AECA no solo brinda sus conocimientos de automatización, sino que también tienen una amplia experiencia en la elaboración de este producto, cargando sus recetas personalizadas dentro del microcontrolador, permitiendo a cualquier usuario inexperto poder cocinar cerveza dentro de su hogar.

# Marco Teórico

Para comprender plenamente las razones detrás de cada paso en este proyecto, es crucial sumergirse en los fundamentos de la elaboración de cerveza artesanal. Quisiera guiarte a través de un marco teórico que abarca desde las materias primas básicas hasta las transformaciones que experimentan en cada fase del proceso cervecero.

El proceso de fabricación de cerveza artesanal se compone inicialmente de las siguientes etapas generales:

1. **Preparación del agua:** Todo comienza con el agua. Filtramos y preparamos este líquido vital para asegurar que sea la base perfecta para nuestra cerveza.
2. **Maceración, Recirculado y Lavado:** Aquí es donde la magia comienza a suceder. La malta y el agua se mezclan, liberando azúcares esenciales para la fermentación. Luego, filtramos y lavamos para obtener el líquido dorado conocido como mosto.
3. **Cocción y Lupulado:** Llevamos el mosto a ebullición, añadiendo lúpulo para sabor y aroma.
4. **Enfriado:** Bajamos la temperatura rápidamente para detener la cocción.
5. **Fermentación:** Introducimos la levadura. Esta pequeña maravilla convierte los azúcares en alcohol y dióxido de carbono, dando vida a la cerveza.
6. **Maduración:** La paciencia entra en juego. Dejamos que la cerveza descanse y madure, permitiendo que los sabores se desarrollen plenamente.
7. **Embotellado:** Finalmente, envasamos nuestra creación para que todos la disfruten.

## Materias primas

### Agua

El agua es el componente principal de la cerveza, representando entre el 80% y el 95% de su composición. La selección del tipo de agua, que va desde aguas minerales hasta aguas duras, depende del estilo de cerveza elegido, pudiendo requerir filtrados o tratamientos específicos antes del proceso de elaboración. Es importante destacar que el agua nunca es completamente pura, ya que contiene diversos minerales o sales que contribuyen al sabor y la dureza.

Cada mineral presente en el agua desempeña un papel crucial en el proceso de elaboración, pudiendo influir en el color, la opacidad, y reaccionar con los ingredientes durante la cocción para aportar amargor, dulzura, textura, entre otras características. Algunos de estos minerales incluyen cloro, calcio, magnesio, manganeso, zinc, sulfatos y otras sales.

A continuación, se detallan los parámetros a tener en cuenta en el agua y su influencia en el resultado final de la cerveza:

- La dureza del agua: se refiere a la concentración de compuestos minerales presentes en una cantidad determinada de agua, principalmente sales de magnesio y calcio. El término "dura" se utiliza para describir el agua que contiene una elevada concentración

de estas sales, mientras que el agua "blanda" posee una cantidad muy reducida de las mismas. Este parámetro es de vital importancia en la elaboración de cerveza.

En términos generales, se puede afirmar que las aguas blandas son ideales para la producción de cervezas claras, mientras que las aguas duras son más adecuadas para cervezas de tonalidades oscuras. La composición de la dureza del agua desempeña un papel crucial en la interacción con los ingredientes durante la elaboración, influyendo en aspectos como el sabor, la textura y el color de la cerveza final.

- Ph: El pH, o potencial de hidrógeno, es una medida numérica que evalúa la acidez o alcalinidad de una solución. Este indicador refleja la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en una sustancia específica.

La escala de pH típicamente varía de 0 a 14 en soluciones acuosas. Aquellas con un pH inferior a 7 se consideran ácidas, mientras que las soluciones con un pH superior a 7 se clasifican como alcalinas. Un pH de 7 indica la neutralidad de la solución, especialmente cuando el disolvente es agua.

Para medir el pH, se utilizan métodos como el papel de pH (tornasol) o dispositivos electrónicos especializados. Estos permiten obtener información precisa sobre la acidez o alcalinidad de una sustancia, facilitando así el control y ajuste de las condiciones en diversos procesos, incluida la elaboración de cerveza.

El pH del agua comúnmente se sitúa alrededor de 7, pero durante el proceso de macerado, experimenta una disminución, alcanzando valores entre 5.2 y 5.6. Este descenso se atribuye a la reacción de los iones  $Ca^{+2}$  con los fosfatos presentes en la cebada malteada, generando una acidificación en la mezcla. Mantener un pH ligeramente ácido, aproximadamente 5.3, es crucial ya que en este rango, las enzimas amilasas alcanzan su máxima eficiencia para extraer la cantidad óptima de azúcares durante el macerado. Este control preciso del pH contribuye significativamente al proceso de elaboración de cerveza, asegurando rendimientos óptimos y la obtención de los sabores deseados en la bebida final.

Es importante considerar que las maltas oscuras poseen una mayor capacidad para acidificar el macerado en comparación con las maltas más claras. Por esta razón, las aguas duras, que contienen niveles elevados de bicarbonato que dificultan la acidificación, se prefieren en la elaboración de cervezas oscuras. Esto ayuda a contrarrestar el efecto de acidificación y lograr un pH óptimo durante el macerado.

En situaciones en las que el pH del macerado no se encuentra dentro del rango adecuado, existen opciones para ajustarlo químicamente:

- Para reducir el pH, se puede emplear sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>) o añadir ácido láctico (compuesto ácido).
- Para aumentar el pH, se puede recurrir al carbonato cálcico (CaCO<sub>3</sub>) (compuesto básico).



La influencia de los iones en el agua desempeña un papel crucial en estos ajustes químicos, permitiendo a los cerveceros controlar y mantener condiciones óptimas para el proceso de maceración y, en última instancia, para la calidad final de la cerveza.

- Los bicarbonatos ( $HCO^{-3}$ ) desempeñan un papel crucial y son determinantes en el nivel de dureza temporal del agua. Algunas consideraciones relevantes son:

Dureza Temporal: Los bicarbonatos contribuyen a la dureza temporal del agua, que puede ser reducida mediante la ebullición. Sin embargo, su presencia plantea desafíos en el proceso cervecero, tales como:

- Evitación de Acidificación: En el macerado, los bicarbonatos pueden evitar la acidificación, resultando en un mosto demasiado ácido, especialmente al utilizar maltas oscuras.
  - Interferencia en la Fermentación: Durante la fermentación, los bicarbonatos pueden interferir con los agentes clarificantes al secuestrar iones de calcio, afectando la claridad de la cerveza final.
  - Impacto en la Extracción de Resinas de Lúpulo: Los bicarbonatos disminuyen el efecto de los sulfatos en la extracción de resinas del lúpulo, lo que puede influir en las características de amargor y aroma de la cerveza.
- Iones  $Na^{+}$ : Los iones  $Na^{+}$  provenientes del sodio desempeñan un papel significativo en la elaboración de la cerveza. Su presencia contribuye al cuerpo y a la sensación en la boca de la cerveza, aportando una complejidad sensorial. No obstante, es crucial manejar su cantidad con precaución, ya que el uso excesivo puede dar como resultado un efecto desfavorable de salinidad en la cerveza final. Un equilibrio adecuado de iones de sodio es fundamental para asegurar que la cerveza mantenga sus características deseadas sin comprometer la calidad del producto terminado.
  - Los iones  $SO_4^{-2}$ : conocidos como sulfatos, desempeñan un papel crucial en la elaboración de la cerveza. Contribuyen significativamente a la extracción óptima de las resinas del lúpulo, facilitando la obtención de un amargor equilibrado y un perfil de sabor seco en la cerveza. Sin embargo, es importante mantener niveles adecuados, ya que un exceso de sulfatos puede resultar en sabores y aromas desagradables en la cerveza final. En la dosificación precisa de sulfatos radica la capacidad de los cerveceros para lograr la armonía deseada en el carácter de la cerveza, resaltando sus cualidades sin comprometer la calidad del producto.

- Los iones  $CA^{+2}$ : o iones de calcio, desempeñan un papel esencial en la elaboración de la cerveza y son los principales responsables de la dureza del agua. Su influencia abarca varias funciones clave en el proceso cervecero:
  - Acidificación del Mosto: Durante el macerado, el calcio reacciona con los fosfatos provenientes de la malta, contribuyendo a la acidificación del mosto y reduciendo su pH.
  - Precipitación de Proteínas: En la etapa de ebullición, el calcio facilita la precipitación de proteínas al crear puentes entre ellas, mejorando la claridad de la cerveza.
  - Nutriente para Levaduras: Actúa como un nutriente esencial para las levaduras, favoreciendo su metabolismo y aumentando su vigor durante la fermentación.

Para incrementar la presencia de iones de calcio en el agua de elaboración, se pueden agregar compuestos como  $CaSO_4$  (sulfato de calcio) o  $CaCl_2$  (cloruro de calcio). Se recomienda mantener niveles óptimos de calcio en el rango de 50-100 mg/l para garantizar su contribución positiva al proceso cervecero.

- Los iones  $CL^-$  y el cloro: desempeñan un papel en la elaboración cervecera, aportando matices específicos al producto final. En cantidades moderadas, los cloruros pueden contribuir a un perfil de sabor más dulce, mientras que en concentraciones más altas, pueden introducir sabores indeseables. Similar al sodio, los cloruros intensifican la sensación en la boca, agregando complejidad y proporcionando una textura más plena a la cerveza.  
Es importante destacar que el cloro presente en el agua utilizada para elaborar cerveza puede impartir un sabor medicinal, especialmente en forma de clorofenoles. Para mitigar estos efectos, el carbón activo se utiliza para eliminar el cloro, absorbiendo impurezas disueltas, sabores desagradables y olores del agua. Otra alternativa para eliminar el cloro es el hervido del agua, brindando opciones para asegurar la calidad y el perfil de sabor deseado en el proceso cervecero.

## Malta

La malta es el alma o la base de la cerveza. Estas se pueden elaborar a base de una sola malta, pero la mayoría utiliza 2 o 3 tipos diferentes, llegando en algunos casos a emplear hasta 8 maltas distintas.

Aporta los azúcares que posteriormente la levadura fermenta. También es el agente principal que le otorga el color a la cerveza y uno de los mayores contribuyentes al sabor, el aroma y el cuerpo de esta. Las proteínas de sus granos dan estructura a la espuma, mientras que los

minerales que contiene proporcionan muchos de los nutrientes esenciales que necesita la levadura para desarrollarse.



*Figura 1: Distintos tipos de cerveza*

La malta se compone de granos de cereal, en su mayor parte cebada, que ha pasado por el proceso de malteado, este proceso es crucial; seleccionamos los granos de más alta calidad basándonos en criterios como un alto contenido de almidón, tamaño uniforme, bajo contenido de nitrógeno y un poder diastático elevado. Este último término se refiere a la capacidad de los granos para descomponer moléculas de almidón en azúcares simples durante la elaboración de la cerveza, y está directamente relacionado con la cantidad de enzimas diastáticas presentes.

El tostado del grano juega un papel crucial, determinando características fundamentales de la malta. Esta elección tiene un impacto significativo en la calidad y en el producto final de la cerveza, por lo que la adquisición de los granos debe ser considerada con detenimiento y cuidado durante el proceso de elaboración.

## Lúpulo

El lúpulo (*Humulus Lupulus*) pertenece al género *Humulus* y es una de las tres especies de plantas de este género. Originario de Europa, Asia occidental y Norteamérica, el lúpulo es una planta dioica, lo que significa que las flores femeninas y masculinas se desarrollan en plantas separadas. Las flores femeninas, de tono verde claro, se agrupan en amentos y desempeñan un papel esencial como saborizante y agente estabilizador en la cerveza.

Es importante señalar que solo las plantas femeninas desarrollan la flor, y en las plantaciones de lúpulo, las plantas masculinas y femeninas se sitúan por separado. Este arreglo se realiza para evitar la polinización de las flores por las plantas masculinas, ya que esto daría lugar a la formación de semillas, lo cual afectaría la utilidad del lúpulo en la elaboración de cerveza.



*Figura 2: Lúpulos*

La incorporación de lúpulos en la elaboración de cerveza representa una práctica relativamente moderna. Antes de su adopción generalizada, la responsabilidad de proporcionar amargor, sabor y aroma a la cerveza recaía en las gruits, mezclas de hierbas y especias elaboradas con ingredientes locales. Estas combinaciones incluían elementos como beleño, romero, brezo, jengibre, píceas, enebro o mirto. En algunas regiones de Europa, las mezclas de gruit estaban bajo la exclusividad de gremios especializados que mantenían en secreto los ingredientes y poseían derechos exclusivos sobre su producción.

Los lúpulos se añaden en un momento u otro del proceso de elaboración en función de la característica que se quiera obtener. Mientras que la mayoría de los lúpulos se añaden en la cuba de hervido, también es posible añadirlos en etapas previas o posteriores a la cocción. La adición temprana de lúpulos en el hervido sirve para proporcionar amargor, mientras que la añadidura tardía permite obtener sabor y aroma a lúpulo.

**- Lúpulos de amargor:** El amargor de los lúpulos proviene de los alfa-ácidos que se encuentran en las glándulas de lupulina de las flores de lúpulo. Para que estos ácidos otorguen amargor a la cerveza tienen que ser químicamente alterados e isomerizados por el proceso de cocción. La isomerización es el proceso químico por el que un compuesto es transformado en otro que tiene la misma composición química, pero una estructura diferente. La transformación de humulona en isohumulona es facilitada por la presencia de iones de magnesio. El porcentaje de alfa-ácidos potenciales que son isomerizados se denomina "utilización". Al aumentar la duración de la cocción, aumenta el rendimiento de isohumulona, por lo que los lúpulos de amargor se suelen añadir al principio del hervido o al menos 60 minutos antes de que termine el proceso.

**- Lúpulos de sabor:** El sabor y el aroma a lúpulo provienen de los aceites esenciales que se encuentran en las glándulas de lupulina. Suele contener porciones reducidas de alfa-ácidos. Los sabores son liberados a medida que los aceites se disuelven en el mosto durante la cocción. Se debe considerar, que como los aceites son altamente volátiles y se evaporan fácilmente, los lúpulos de sabor se añaden entre 20 y 40 minutos antes de que termine la cocción.

- **Lúpulos de aroma:** De nuevo, debido a que los aceites esenciales son muy volátiles, los lúpulos que proporcionan aroma se añaden en los últimos minutos del hervido para minimizar, así, su evaporación. En muchos casos, se suelen agregar una vez terminado el hervido.

Como mencionamos anteriormente, los lúpulos se pueden añadir en otros momentos del proceso de elaboración de cerveza además del hervido, logrando resaltar el sabor y el aroma de la cerveza.

El **Dry Hopping** es, probablemente, la práctica más frecuente relacionada con los lúpulos y que no tiene relación con la cocción. En este proceso se añaden los lúpulos a la cerveza almacenada en los fermentadores una vez esta fermentación ha terminado. Los lúpulos tienen que estar en contacto con la cerveza entre una y dos semanas, permitiendo así que se disuelvan los aceites esenciales. El Dry hopping otorga a la cerveza un aroma fresco y potente a lúpulo, así como también realza un poco su sabor.

## Levadura

Las levaduras desempeñan un papel esencial en una amplia gama de productos, desde panes hasta bebidas. En el proceso de elaboración de cerveza, su función principal es digerir los azúcares presentes en la mezcla, generando alcoholes y dióxido de carbono, mientras libera calor durante el proceso.

Estas levaduras son organismos unicelulares pertenecientes al reino de los hongos. En la fabricación de cerveza, la mayoría de las levaduras utilizadas pertenecen al género *Saccharomyces*. Para las cervezas ALE, se emplea la *S. Cerevisiae*, mientras que para las LAGER se prefiere la *S. Uvarum*. En variedades más específicas, como las weizen, se utiliza la *S. Delbrueckii*. Este diverso uso de levaduras contribuye a la creación de distintos perfiles de sabor y características únicas en las cervezas producidas.



*Figura 3:Levaduras*

La levadura desempeña un papel crucial en la elaboración de cerveza, y su clasificación se basa en el grado de fermentación, dividiéndose en alto y bajo grado. Las levaduras de alto grado, las más comunes, se obtienen de fuentes naturales vegetales y animales. Actúan a temperaturas entre 11 y 25°C, presentando numerosas variedades, siendo más utilizadas en las cervezas tipo ale. Por otro lado, las levaduras de bajo grado, utilizadas en la producción de lagers, operan a temperaturas entre 6 y 12°C. También se destacan las levaduras híbridas, empleadas en cervezas de trigo, entre otras.

La temperatura de fermentación es un factor crítico, ya que una pequeña variación de 1 o 2°C puede modificar por completo el sabor. Temperaturas más elevadas, con un exceso de 5 a 15°C, pueden generar subproductos no deseados que afectan negativamente el sabor de la cerveza.

La levadura contribuye significativamente a los sabores distintivos de cada cerveza. Incluso al agregar dos levaduras diferentes al mismo mosto, las cervezas resultantes serán completamente distintas. Entre las características específicas de cada levadura se encuentran el sabor único que aporta y la atenuación, que indica el porcentaje de azúcares convertidos en alcohol.

La atenuación aparente de una levadura generalmente oscila entre el 67% y el 77%, y se determina por la composición de la cerveza verde y la cepa de levadura utilizada. Cada cepa de levadura fermenta diferentes azúcares en proporciones diversas, lo que resulta en densidades finales de mayor o menor valor, afectando así el dulzor y el cuerpo de la cerveza obtenida.

Es importante mencionar la diferencia entre la atenuación real, que representa el porcentaje de azúcares convertidos en alcohol, y la atenuación aparente. La discrepancia entre estos dos conceptos surge del hecho de que el alcohol tiene una densidad menor que 1 (aproximadamente 0,8). La medición con un densímetro permite conocer el porcentaje de azúcares fermentados mediante la aplicación de la fórmula correspondiente:

$$AtAp(\%) = \frac{100 * (Di - Df)}{(Di - 1)}$$

donde:

AtAp (%) : atenuación aparente en %

Di: densidad inicial.

Df: densidad final

La floculación se refiere a la tendencia de las levaduras a agruparse y precipitar, un comportamiento que varía entre cepas. Algunas cepas forman grupos grandes que contribuyen a la clarificación de la cerveza, mientras que otras tienen una floculación limitada, resultando en una consistencia más granular o turbia. La precipitación temprana de la levadura puede interrumpir reacciones químicas, dejando un sabor dulce y acaramelado debido a su breve contacto con el azúcar.

En términos nutricionales, las levaduras contienen aproximadamente un 25% de proteínas vegetales, un 20% de fibras y cantidades menores de carbohidratos, además de una amplia variedad de vitaminas del complejo B y minerales. La levadura de cerveza destaca por su contenido significativo de fosfatos y potasio, con proporciones relativamente altas de azufre, magnesio y calcio, y un bajo contenido de sodio.

La composición lipídica de las levaduras puede variar entre un 4 y un 7%, dependiendo de las especies o cepas utilizadas. La especie *Saccharomyces cerevisiae*, empleada en la producción de levadura alimenticia, contiene cantidades notables de ácidos grasos insaturados, como ácidos oleico y linoleico, junto con esteroides de diversos tipos moleculares, lecitinas y cefalinas, contribuyendo desde el punto de vista nutricional.

En cuanto a los carbohidratos, la levadura contiene aproximadamente entre un 30% y un 35% del total de su composición, principalmente en forma de carbohidratos de reserva como glucógeno y trealosa, así como polímeros de glucosa y manosa (glucanos y mananos). Estos últimos poseen propiedades espesantes en alimentos, manteniendo su viscosidad sin alterarse por el calor.

La levadura de cerveza virgen destaca por su rico contenido en fibra dietaria, alcanzando alrededor del 20% de la materia seca, aportando así beneficios adicionales a la dieta.

## Otros Ingredientes

Pequeñas adiciones, pero con un impacto significativo: en la elaboración de cervezas, la inclusión de ingredientes como frutas, hierbas aromáticas, especias y otros elementos aromáticos se ha convertido en una práctica común para realzar el sabor y añadir complejidad estructural. Una variada gama de opciones se despliega, desde la dulzura de las moras, arándanos, cerezas y duraznos, hasta la exuberancia de hierbas como romero y tomillo, y especias como coriandro y jengibre. También, la frescura de cáscaras frutales, el toque cítrico de limón y naranja, y la riqueza de la miel.

Este enfoque moderno de agregar frutas a la cerveza ha cobrado relevancia recientemente en el mundo cervecero comercial. Aunque la práctica ancestral de incorporar frutas en las cervezas se remonta al Antiguo Egipto. Parece que el uso de frutas en la fabricación de cerveza era una expresión única y personal de cada cervecero, con pocas referencias documentadas que han perdurado hasta nuestros días.



*Figura 4: Cítricos para recetas*

Introducir frutas en la mezcla añade una dimensión única, pero surge un desafío importante: el riesgo de contaminación bacteriana, viral y microbiana. Estos microorganismos pueden alterar la mezcla, introduciendo sabores no deseados. Para mitigar estos riesgos, existen diversos métodos para incorporar frutas a la cerveza.

Un enfoque común implica la creación de un puré de frutas, congelándolo y añadiéndolo al fermentador secundario al final de la fermentación. Es esencial lavar adecuadamente la fruta, desinfectar herramientas y asegurarse de que todo esté limpio. Dado que el lúpulo y el alcohol poseen propiedades antisépticas, el riesgo de contaminación se reduce cuando la levadura ha fermentado el mosto.

Otra estrategia es remojar la fruta en vodka u otra bebida alcohólica para eliminar impurezas antes de agregarla fresca al fermentador secundario. También se puede aplicar un blanqueado, sumergiendo la fruta en agua hirviendo por segundos para esterilizarla sin cocinarla a fuego alto.

El uso de fruta licuada como método mecánico generará partículas difíciles de eliminar, otorgando a la cerveza saborizada una apariencia ligeramente turbia. Los porcentajes de fruta varían según la receta, siendo comunes valores de 5 a 30% del peso en kilos de fruta por litro de cerveza.

En cuanto a las hierbas, su elección y momento de uso dependen de sus características y del tipo de cerveza deseada. Algunas son amargas, otras más plenas o aromáticas. La selección y cantidad de hierbas influyen en gran medida en el perfil final de sabor de la cerveza, y cada hierba aporta cualidades únicas.





*Figura 5: Plantas aromáticas*

Las hierbas amargas, como marrubio, salvia, diente de león, hierba de San Pedro, cardo mariano, ortiga, milenrama, genciana, salvia romana y betonia, se incorporan al comienzo del hervor. Su amargor difiere del lúpulo, y algunas pueden introducir sabores inusuales o medicinales.

Para agregar sabor, se utilizan hierbas como enebro, pino, romero, jengibre, orégano, menta, bergamota silvestre, mejorana, regaliz y tomillo. La mayoría tiene sabores intensos. Hierbas como romero, lavanda, manzanilla, melisa, bergamota y flores de saúco se emplean para proporcionar aroma, añadiéndolas en los últimos minutos del hervor, preferiblemente en forma seca. Una práctica efectiva es realizar una infusión previa y agregarla en cantidades precisas según la etapa de elaboración.

Además, la miel, influenciada por el hábitat de la colmena y la flora circundante, aporta aromas, sabores delicados y variaciones de color. Puede conservarse indefinidamente debido a su bajo contenido de humedad (menos del 18%), lo que inhibe el crecimiento de bacterias y levaduras salvajes. El aumento de agua podría propiciar procesos fermentativos.



*Figura 6: Miel para cerveza Honey*

Cuando se planea incorporar miel a la cocción de la cerveza, es esencial considerar el objetivo final. Si se busca principalmente aumentar la graduación alcohólica, se puede simplificar el proceso añadiendo la miel directamente al hervor unos 10 a 15 minutos antes de su finalización. Esto elimina posibles fuentes de contaminación. Sin embargo, dado que la miel es muy volátil, los sabores y aromas característicos se reducirán significativamente debido al intenso calor del hervor.

Por otro lado, si se pretende que la cerveza conserve el sabor a miel, se debe agregar durante la fermentación, cuando las levaduras están en plena actividad, caracterizadas por una espuma prominente. No obstante, la miel contiene bacterias y levaduras salvajes que podrían afectar la cerveza, por lo que es crucial eliminarlas para evitar riesgos. Para lograr esto sin perder el aroma y sabor de la miel, se debe pasteurizar antes de agregarla, sometiéndola a una temperatura de aproximadamente 80°C durante unos 90 minutos.

## Procesos de la elaboración

### Maceración

Durante el proceso de maceración, se obtiene el "mosto", una solución dulce que contiene, entre otros elementos, azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros componentes disueltos en agua. La maceración implica someter una mezcla de agua y granos durante un tiempo específico. Estas variables, como la relación agua/grano, el tiempo y la temperatura, se planifican al crear una receta y varían según los ingredientes, los métodos de elaboración y el perfil deseado para la cerveza.

En este proceso, las enzimas desempeñan un papel fundamental, llevando a cabo la mayor parte del trabajo. Las enzimas son proteínas catalizadoras que aceleran reacciones químicas energéticamente posibles, haciendo más eficiente un proceso que ocurriría de todos modos, pero a una velocidad mucho más lenta sin su presencia.

Tanto la temperatura como el pH son factores cruciales para el funcionamiento de las enzimas. Cada enzima alcanza su máxima actividad a una temperatura y un pH óptimos. Dado que estos valores varían entre enzimas, los cerveceros a menudo emplean escalones de temperatura durante la maceración y ajustan el pH del mosto para favorecer el trabajo de cada enzima.

Las enzimas activadas o generadas durante el malteo se encargan de la acidificación del mosto, degradan proteínas y, principalmente, convierten el almidón en azúcares más simples, listos para ser procesados por las levaduras posteriormente.

- Acidificación del mosto: Cuando la maceración se realiza a una temperatura baja (30-52°C), se favorece la acción de una enzima llamada fitasa. Esta enzima tiene la capacidad de degradar la fitina presente en la malta, logrando así acidificar el mosto.
- Degradación de betaglucanos: Los beta-glucanos son largas cadenas formadas por moléculas de glucosa unidas entre sí por enlaces glucosídicos tipo beta. A diferencia del almidón, son polisacáridos con una estructura diferente. La degradación adecuada de estos polisacáridos debe llevarse a cabo durante el malteado, ya que cualquier defecto o insuficiencia afecta negativamente todo el proceso. Los glucanos forman geles que aumentan la viscosidad del empaste, dificultando la filtración del mosto y de la cerveza final. Para degradar los betaglucanos de manera efectiva, se requiere un rango de temperatura entre 36 y 45°C y un pH entre 4,5 y 5,5.
- Degradación de proteínas: Durante el malteado, se busca principalmente la degradación de las proteínas de alto peso molecular, convirtiéndolas en compuestos más simples como aminoácidos y oligopéptidos. La degradación de proteínas contribuye al buen desarrollo de las levaduras, evitando fermentaciones lentas o inactivas, y ayuda a prevenir la turbidez en la cerveza final.

Las condiciones óptimas se pueden establecer en temperaturas entre 45-55°C y un pH de 4,2-5,3, durante unos 20 min.

- Conversión del almidón: El almidón, un polímero compuesto por dos tipos de cadenas polisacáridas (amilosa y amilopectinas), es inherentemente insoluble en agua y carece de utilidad directa para la elaboración de cerveza. Las levaduras solo pueden procesar azúcares en sus formas más simples, como monosacáridos (glucosa) y disacáridos (maltosa y maltotriosa). En granos como los de cebada, el almidón representa entre el 63% y el 65% del peso seco. Para ser aprovechado, debe transformarse en azúcares solubles en agua, incluyendo azúcares fermentables y dextrinas. Este proceso implica tres etapas clave:
  - Hidratación: En esta fase, el almidón se hidrata, incrementando considerablemente el tamaño de sus gránulos.
  - Gelatinización: Al elevar la temperatura, el almidón experimenta la gelatinización, volviéndose soluble en agua. La cebada malteada contiene almidón que gelatiniza a temperaturas superiores a los 60°C. Sin embargo, otros almidones, como los del arroz, gelatinizan a temperaturas más elevadas, superiores a los 90°C, y requieren hervirse antes de ser convertidos por las enzimas.

El rango de temperaturas óptima para esta enzima está entre 60 y 75°C, con un pH entre 5,0 y 5,5.



*Figura 7: Mosto macerando*

Factores que afectan las condiciones de maceración:

- La maceración, esencial en la producción de cerveza, se ve influida por diversos factores que determinan sus condiciones y, por ende, la calidad y características finales del mosto. Estos factores incluyen:
- Relación agua/grano: La proporción de agua utilizada en relación con la cantidad de granos impacta la extracción de compuestos clave durante la maceración. Esta relación influye en la densidad del mosto y en la eficiencia general del proceso.
- Temperatura: La temperatura de la maceración es crítica, ya que afecta la actividad de las enzimas. Diferentes temperaturas dan como resultado perfiles de sabor variados. Escalonar la temperatura durante la maceración puede favorecer la acción específica de diferentes enzimas.
- Duración: El tiempo de maceración es determinante para la extracción completa de compuestos deseables. Demasiado tiempo puede conducir a la extracción de compuestos indeseables, mientras que una maceración corta puede resultar en una conversión incompleta de almidones.
- pH: El pH del mosto durante la maceración afecta la actividad enzimática. Mantener un rango de pH específico favorece la actividad óptima de las enzimas, contribuyendo a la eficiencia de la conversión de almidones.
- Calidad y tipo de malta: La malta utilizada en la maceración influye en la composición del mosto. Diferentes maltas aportan sabores, colores y características distintas a la cerveza final.
- Tamaño de molienda de los granos: El grado de molienda de los granos impacta la eficiencia de la maceración. Un molido más fino puede aumentar la superficie de contacto, facilitando la extracción de compuestos.

- Recirculación: Una recirculación adecuada durante la maceración asegura una distribución uniforme del agua y contribuye a una extracción homogénea de compuestos.

Estos factores son considerados y ajustados por los cerveceros para lograr los perfiles deseados en el mosto y, por ende, en la cerveza final.

## Lavado de granos

El lavado de grano, una fase crucial en la elaboración de cerveza, se lleva a cabo después de la maceración y antes de la cocción. Este proceso busca extraer al máximo los azúcares contenidos en los granos malteados, disolviéndolos en agua caliente para formar un mosto dulce. La siguiente descripción aborda diferentes métodos de lavado:

- Lavado por Etapas: En este método, se realizan múltiples adiciones de agua al macerador, con recirculación y drenaje completo del mosto después de cada una. Al finalizar la maceración, se añade un pequeño volumen de agua para diluir ligeramente el mosto.
- Lavado Continuo: Utilizado mayormente en cervecerías grandes, implica la adición constante de agua durante el lavado. Este método produce un mosto de mayor calidad y claridad. Después de un tiempo de asentamiento, se inicia el rociado del agua de lavado. Este enfoque requiere más equipo y experiencia, pero ofrece eficiencia y calidad mejoradas.
- No Lavado: En este método, se mezcla todo para asegurar la máxima extracción, recirculando y drenando todo el mosto de una sola vez. Requiere un macerador de mayor capacidad.

La eficiencia del lavado se mide por la capacidad de extraer azúcares, con valores normales entre 50% y 75%. La elección del método depende de la escala de producción, recursos y objetivos de calidad de la cerveza. La adecuada ejecución del lavado contribuye significativamente a la obtención de un mosto de alta calidad para la fase de cocción.

## Hervido

La fase de cocción en la elaboración de cerveza desempeña un papel esencial al definir muchas características del producto final. Se buscan varios objetivos durante esta etapa, que abarcan desde la remoción de compuestos indeseados hasta la incorporación de sabores y aromas específicos. A continuación, se detallan los procesos clave que tienen lugar durante la cocción:

- Esterilización del mosto: Durante la cocción, la malta, los lúpulos y, en ocasiones, el agua, contienen bacterias y mohos. Para evitar la degradación de la cerveza, se realiza una ebullición que elimina gran parte de los microorganismos. Sin embargo, al finalizar este proceso, se requieren medidas adicionales para garantizar la esterilidad del mosto. Un pH bajo y

compuestos antibacterianos del lúpulo aseguran la erradicación de posibles patógenos y esporas supervivientes. Este cuidadoso procedimiento no solo elimina microorganismos no deseados, sino que también prepara el terreno para una fermentación controlada, consolidando la calidad del producto final.

- Inactivación enzimática: En el proceso de cocción, se logra la inactivación enzimática, deteniendo la actividad enzimática residual. Esto no solo estabiliza la composición de carbohidratos del mosto, sino que también determina el contenido de dextrina en la cerveza final. Las levaduras no pueden fermentar las dextrinas, por lo que estas permanecen en el mosto, contribuyendo a la dulzura característica de la cerveza terminada. Este paso crucial define no solo el perfil de sabor, sino también la textura y complejidad del producto final.

- Efecto del hervor sobre las proteínas: El mosto proveniente del macerado contiene una variedad de proteínas con efectos adversos que deben eliminarse para evitar turbidez y sabores indeseables en la cerveza final. Sin embargo, existen proteínas esenciales que contribuyen al color, la espuma y la sensación en boca.

Durante el hervor en condiciones óptimas, estas proteínas y polipéptidos se combinan y precipitan hacia el fondo de la olla. La duración del hervor necesaria para esta precipitación disminuye con la presión y, por ende, con una mayor temperatura. Este proceso crucial no solo garantiza la claridad de la cerveza, sino que también define sus características sensoriales fundamentales.

- Lúpulos: Los lúpulos desempeñan un papel crucial en el perfil sensorial de diversos estilos de cerveza. Sus aceites no solo proporcionan el amargor necesario para equilibrar la dulzura de la malta, sino que también contribuyen a la preservación de la cerveza. La adición de lúpulo en diferentes momentos del hervor, ya sea al principio, a la mitad o al final, permite ajustar las propiedades deseadas.

Las características más sutiles, como el sabor y el aroma, son volátiles y tienden a evaporarse rápidamente durante el hervor. Por lo tanto, se preservan mejor cuando se añaden en los últimos minutos del proceso. En contraste, para obtener el amargor característico del lúpulo, es esencial hervir el mosto durante aproximadamente una hora, permitiendo la liberación y absorción gradual de este componente.

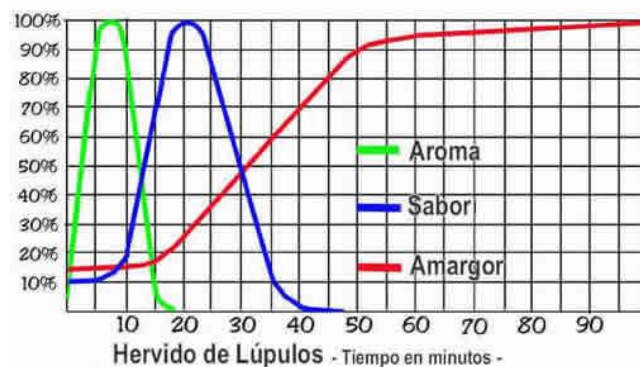


Figura 8: Curvas de macerado

- Aroma a lúpulo: El característico aroma a lúpulo proviene de sus aceites esenciales, cada uno contribuyendo con su propio olor. Estos aceites, solubles en mosto caliente, son altamente volátiles y se desprenden rápidamente con el vapor de agua durante el hervor. Para capturar y

preservar este aroma único, se realiza la adición de lúpulo en las etapas finales del hervor, justo antes de que se evapore, permitiendo que la cerveza retenga esa esencia distintiva.

- Evaporación de compuestos aromáticos indeseables: En el mosto, se encuentran compuestos aromáticos de variada volatilidad, algunos de los cuales pueden resultar desagradables en el aroma de la cerveza, como el sulfuro de dimetilo (DMS) y el hexanal. Estos aportan matices como el olor a maíz hervido o vegetales sobrecocidos. Para garantizar un perfil aromático óptimo, es crucial eliminar estas sustancias no deseadas. Un enfriamiento rápido del mosto después de la cocción es clave para minimizar este problema, asegurando así la excelencia en el bouquet de la cerveza.
- Concentración del mosto: Durante el hervor, la concentración del mosto se alcanza mediante la evaporación del agua en forma de vapor, siendo directamente proporcional a la tasa de evaporación de la olla, la cual está vinculada a su diseño.
- Descenso del valor pH en el mosto: Simultáneamente, el valor de pH en el mosto experimenta una disminución desde 5,6–5,8 al inicio del hervor hasta aproximadamente 5,2–5,4 al concluir. Para ajustar el pH a niveles deseados, se utilizan agentes ácidos como el Sulfato de Calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) para reducirlo, o alcalinos como el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para aumentarlo. Es importante destacar que un pH más bajo puede disminuir la eficiencia en la extracción de compuestos amargos del lúpulo, lo cual puede subsanarse añadiendo más lúpulo. Por esta razón, se prefiere acidificar el mosto a un valor de pH de 5,1 a 5,2 justo antes de concluir la cocción.

## Enfriado

Un paso crucial en la elaboración cervecera es el enfriado, y existen diversas técnicas, cada una con sus pros y contras en términos económicos, eficiencia y practicidad. La elección depende del volumen a enfriar y el tiempo necesario para que el mosto pase de más de  $100^\circ\text{C}$ , a la temperatura óptima de inoculación de  $23\text{-}27^\circ\text{C}$ .

Un método común es el enfriador por inmersión, un tubo de cobre en forma de resorte que se introduce 15 minutos antes de finalizar la cocción y se conecta a la canilla de agua fría. Circulando agua fría, actúa como intercambiador de calor, reduciendo la temperatura. Se limpia con agua hirviendo antes y después de su uso para mantener la higiene.

Otra opción es el enfriador por placas, eficiente para grandes volúmenes. Con placas estriadas que generan turbulencias, logra un rápido intercambio térmico. Aunque más costoso, es justificable en producciones extensas o en procesos industriales. También se puede mejorar su eficiencia mediante una bomba para dirigir el mosto al fermentador con mayor precisión y esterilización.



*Figura 9: Sistema de enfriado*

## Fermentación

La fermentación, proceso químico-biológico clave en la elaboración cervecera, es conducida por microorganismos, principalmente levaduras, de manera anaeróbica (sin oxígeno). Este fenómeno convierte los azúcares presentes en el mosto en alcohol y dióxido de carbono durante un tiempo prolongado, siendo la etapa más extensa del proceso cervecero.

Tras la ebullición, el mosto se encuentra estéril y lleno de nutrientes, excluyendo el oxígeno esencial para la levadura. La aireación del mosto, después de enfriarlo, es fundamental para su crecimiento y una fermentación adecuada. La inoculación de la levadura puede realizarse en línea durante el traslado al fermentador o mezclando el mosto frío con la levadura en un tanque iniciador.

La fermentación consta de varias fases: adaptación, crecimiento exponencial o atenuativa, y estacionaria o de acondicionamiento. Durante la adaptación, la levadura sintetiza enzimas y componentes necesarios para su crecimiento. La aireación es crucial en esta etapa, y en casos de alta densidad, se puede aplicar una segunda dosis de oxígeno.

En la fase de crecimiento exponencial, la levadura comienza a reproducirse y asimilar los carbohidratos fermentables, priorizando azúcares simples. La glucólisis convierte la glucosa en CO<sub>2</sub> y agua, y en ausencia de oxígeno, se inicia la fermentación alcohólica, produciendo etanol y CO<sub>2</sub>.

El control de la temperatura es esencial, ya que la actividad de la levadura genera un aumento en la temperatura del mosto. Durante el crecimiento, la levadura contribuye significativamente a la atenuación, reduciendo la densidad de la cerveza.

La fase estacionaria o de acondicionamiento sigue, donde la actividad se reduce, pero algunos organismos aún están activos. Su función es eliminar subproductos y fermentables remanentes. Esta fase puede durar semanas, pero no se debe prolongar más de tres para evitar sabores desagradables.

Finalmente, se inicia el enfriamiento gradual del mosto para facilitar la floculación (sedimentación) de la levadura que aún permanece en suspensión. Este proceso meticuloso y controlado asegura la obtención de una cerveza con el perfil de sabor y calidad deseados.





*Figura 10: Maceración*

La fermentación, proceso crucial en la elaboración cervecera, se ve afectada por varios factores que determinan el resultado final de la cerveza. Estos elementos, cuidadosamente gestionados, aseguran un perfil de sabor óptimo. Aquí están los factores clave:

- **Levadura:** La elección y manipulación cuidadosa de la levadura son esenciales. La levadura influye significativamente en el sabor de la cerveza y debe manejarse con precisión durante la inoculación.
- **Temperatura:** Un factor crítico que impacta directamente en la levadura y la velocidad de fermentación. Temperaturas más altas aceleran el proceso, mientras que temperaturas demasiado bajas pueden inactivar las levaduras, interrumpiendo la fermentación.
- **Oxígeno:** La concentración de oxígeno en el mosto afecta la multiplicación celular de la levadura. La levadura requiere oxígeno para producir compuestos esenciales en la formación de nuevas células, y su presencia influye en la eficiencia del proceso aeróbico.
- **Geometría del Fermentador:** La forma del fermentador, ya sea horizontal o vertical, afecta la fermentación. Las corrientes de convección, las burbujas y la cantidad de CO<sub>2</sub> varían según la geometría, influyendo en el proceso de agitación natural.
- **pH:** El nivel de acidez del mosto también es un factor determinante. Un pH adecuado es crucial para el funcionamiento óptimo de la levadura y la calidad general de la fermentación.

Estos factores, manejados con precisión, garantizan una fermentación exitosa y contribuyen al desarrollo del característico sabor de la cerveza.

## Maduración

El propósito de la maduración es transformar la caótica cerveza verde que sale del fermentador en una cerveza atractiva, gentil y equilibrada.

Al término de la fermentación obtenemos una cerveza que tiene la mayoría de las características planeadas en la receta, pero con una excesiva turbidez debido a los residuos de levadura y otros sólidos que aún permanecen en suspensión como restos de lúpulos. Además, queda un

porcentaje significativo de azúcares remanentes y una cantidad apreciable de subproductos de la fermentación que no deben percibirse en una cerveza terminada. Estas son las causas, no sólo de un aspecto visual poco atractivo, sino también, de aromas y sabores que no se desean tener.

Durante esta etapa, se mantiene la cerveza en reposo a temperaturas determinadas (comúnmente de 0 a 2 °C). Para mejorar las condiciones organolépticas antes de embotellar y consumir, se agrega la famosa gelatina para favorecer el proceso de decantación. La gelatina actúa como un agente clarificante, atrayendo las partículas en suspensión y facilitando su precipitación, resultando en una cerveza más limpia y cristalina. La levadura, durante este periodo, reduce lentamente los fermentables remanentes, generando CO<sub>2</sub> que contribuye a la carbonatación deseada en la cerveza final.

## Envasado

El proceso de envasado de cerveza es crucial en la producción y comercialización de esta popular bebida. Se pueden emplear diversas soluciones, cada una con sus propias ventajas y desafíos.

- Embotellado:  
Material: Vidrio es la opción predominante, siendo higiénico y estéticamente agradable. Las desventajas incluyen el peso y coste del vidrio, así como los retos logísticos debido al espacio requerido para almacenamiento y transporte.
- Enlatado:  
Economía: Las latas son una opción económica en comparación con las botellas.  
Espacio y Logística: Ocupan menos espacio durante almacenamiento y transporte.  
Durabilidad: Menos resistente a golpes y abolladuras que las botellas.
- Envasado en Barriles:  
Volumen y Eficiencia: Menos común en el consumo masivo, pero preferido para grandes cantidades.  
Rapidez y Costo: Mas rápido y económico en comparación con el embotellado y enlatado.  
Negocios a Negocios: Ideal para vender a otras industrias o negocios.

Cada método de envasado tiene sus pros y contras, y la elección depende de factores como el mercado objetivo, la logística, la economía y las preferencias de la cervecería. La variedad en las opciones permite a las cervecerías adaptarse a diferentes necesidades y demandas del mercado.

Ahora que el lector está introducido en el tema, pasamos a explicar las etapas que se desarrollaron dentro del proyecto.

# Diagrama en Bloques

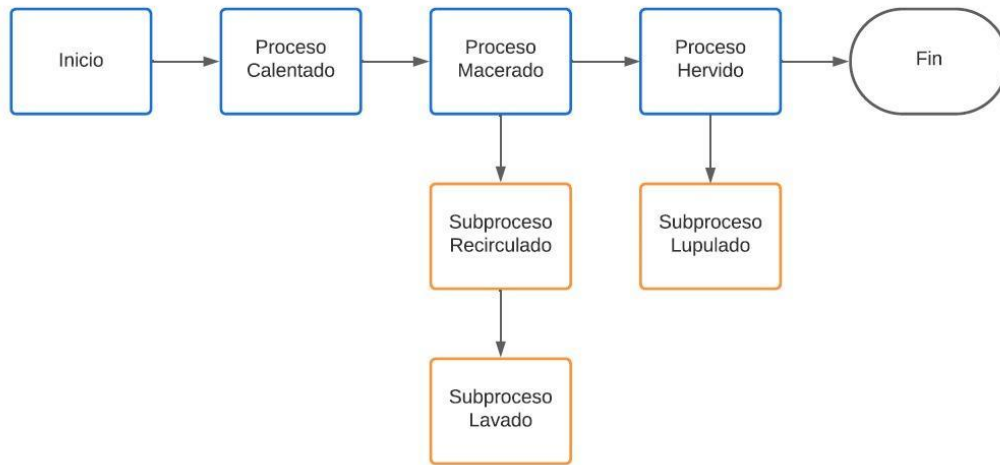


Figura 11: Diagrama de bloques

La preparación previa consiste en llenar la primera olla con 30 litros de agua potable, luego agregar el kit de malta previamente preparado por el proveedor AECA en la tolva principal y finalmente colocar el kit de lúpulos dentro de la mini tolva. Terminado se puede dar comienzo al proceso eligiendo el tipo de kit que se cargó.

Luego se da lugar a el proceso de calentado. El servomotor responsable de la acciona llave de gas y se activa la chispa, desencadenando la generación de llama en el quemador. Es importante destacar que, como medida de seguridad, este proceso incorpora un detector de llama que, en caso de no detectarla, ordena el cierre automático de la válvula de gas.

Posteriormente, se procede a medir la temperatura hasta llegar a los 75°C. Una vez alcanzada esta temperatura, el servomotor actuador abre la valvula de agua para enviar 19 litros de agua, los cuales son meticulosamente contabilizados mediante un caudalímetro. Esta cantidad de agua es la indicada para una correcta maceración. Al completarse esta cantidad, se cierra la válvula, marcando el final de esta etapa, y se avanza al siguiente proceso: el macerado.

En el inicio del segundo proceso, se vierte el agua a la temperatura adecuada en la segunda olla. En este punto, desde una tolva ubicada en un nivel superior, se agrega la malta para iniciar el proceso de macerado. Además, se dispone de un segundo sensor de temperatura que proporciona datos sobre la temperatura a la que se acidifica el mosto.

Después de transcurrir una hora y media, se activa la bomba de recirculado, la cual remueve el contenido del fondo de la olla durante quince minutos y permite una mejor consistencia del mosto. Una vez completado este período, la bomba se apaga y se habilita el servomotor actuando sobre la segunda válvula logrando así que el mosto se vierta a la olla de hervido marcando así el inicio del proceso de hervido. Luego se actúa la válvula de calentado para dar

lugar al lavado de granos, vertiendo en la tercera olla los 19 litros de mosto y los 11 litros restantes de agua que quedaron de la primera olla. Una vez completado el llenado de la última olla, se habilita el servomotor de la segunda válvula de gas, para prender el segundo quemador.

Durante el proceso de hervido el sensor de temperatura toma muestras del mosto y al alcanzar la temperatura de hervido (igual o superior a los 100 °C), se cuenta una hora de hervido. Una vez transcurrido este período, la válvula de gas se cierra, marcando la conclusión del último de los procesos. Al igual que en el primer proceso, se incorpora un sensor de llama para garantizar la seguridad en caso de que no haya llama presente.

Dentro del subproceso de hervido, se encuentra el lupulado. En este paso, el lúpulo cae a través de un dosificador sobre una balanza, que dosifica 30 gramos y los vierte en dos tiempos diferentes a través de un mecanismo. El tiempo y el contenido de los lúpulos los brinda AECA ofreciendo su know how en la industria cervecera. El lupulado se realiza a 35 minutos y 55 minutos después del hervor.

Con esto está terminado el proceso de cocción y el usuario deberá bajar la temperatura rápidamente para llegar el producto final al madurador. El enfriado se puede hacer por método de serpentín o de placas paralelas. Desde AECA se ofrecen los insumos para ambos y se estudia cada caso para ofrecer una solución adecuada.

Por último, el proceso de fermentación transforma el mosto en cerveza. El líquido se deposita en bidones de plástico, se agrega levadura y, aproximadamente después de 7 días, concluye. Este subproceso junto con el enfriado no está automatizado, siendo el único parámetro crucial el mantenimiento constante de la temperatura para permitir la reproducción adecuada de los microorganismos y la decantación de los sólidos más livianos (no filtrados). Se recomienda colocar el fermentador en lugares frescos.

# Hardware

## Soporte del sistema



*Figura 12: Proyecto*

Se llevó a cabo el diseño y la implementación de una estructura de metal de tres niveles destinada a mejorar la cocción de cerveza. Este componente crítico del sistema fue concebido con el objetivo de maximizar la eficiencia, la organización del espacio y, en última instancia, la calidad del producto final.

## Objetivos del Diseño:

- Optimización del Espacio: La estructura de tres niveles fue cuidadosamente diseñada para aprovechar eficientemente el espacio disponible, permitiendo la disposición ordenada de las ollas y la garrafa utilizadas en el proceso de elaboración de la cerveza. Esto no solo facilita el acceso a los componentes clave, sino que también mejora la visibilidad y la gestión general del entorno de producción.
- Optimización: La disposición en tres niveles garantiza una distribución uniforme del calor durante el cocinado de la cerveza, promoviendo así una temperatura consistente y controlada en todas las ollas. Esto es esencial para la obtención de perfiles de sabor precisos y repetibles en cada lote de cerveza producido y aprovechando la fuerza de gravedad que el líquido viaja a través de las ollas.
- Acceso Fácil y Seguro: La estructura fue diseñada con la seguridad y la accesibilidad en mente. Cada nivel cuenta con puntos de acceso estratégicamente ubicados para facilitar la manipulación de las ollas y la garrafa, asegurando un manejo eficiente y minimizando los riesgos operativos.

## Tolva



*Figura 13:Tolva de malta*

Se ha desarrollado y puesto en marcha una tolva que incorpora un balde plástico acoplado a un embudo, destinada a contener la malta de manera eficiente. Este diseño innovador busca optimizar el manejo de la malta, mejorando la precisión y reduciendo los tiempos de preparación en el proceso de elaboración de la cerveza.

#### Características del diseño

- Balde Plástico Acoplado: Se incorporó un balde plástico al diseño de la tolva para proporcionar un método eficaz de contención y transporte de la malta. Este componente facilita la manipulación y el vertido controlado de la malta en las etapas posteriores del proceso.
- Embudo de Alta Capacidad: El embudo, estratégicamente conectado al balde plástico, se diseñó con una capacidad adecuada para contener la cantidad deseada de malta. La forma cónica del embudo facilita un flujo uniforme y controlado de la malta hacia las etapas siguientes del proceso de elaboración.
- Facilidad de Limpieza y Mantenimiento: Tanto el balde plástico como el embudo fueron diseñados considerando la facilidad de limpieza y mantenimiento. Los materiales seleccionados permiten una limpieza rápida y efectiva, asegurando la higiene en cada ciclo de producción.

#### Válvulas Motorizadas

Para la apertura y cierre de las válvulas, hemos creado un sistema automático utilizando Servomotores con un toque de 20 Kg, y un soporte diseñado en 3D para su instalación a la estructura.



*Figura 14: Sistemas de válvula de agua*

Funcionamiento:

La válvula se encuentra equipada con un Servomotor de 20Kg que monitorean constantemente las condiciones del entorno y las necesidades del sistema al que está integrada. Cuando se activa el proceso de apertura, el motor entra en acción, desplazando la compuerta de la válvula

El cierre automático se ejecuta de manera igualmente precisa. Los sensores detectan los parámetros predefinidos o las señales de control y activan el motor para cerrar la válvula de manera gradual y segura. Este proceso, controlado por un sistema centralizado o incluso programable, asegura una respuesta rápida y eficiente a las demandas del sistema en el que se implementa.



*Figura 15: Sistema de control de gas*

## Balanza y Dosificador de Lúpulos

Hemos integrado dos estructuras 3D destinadas a optimizar el dosificado de lúpulos y el pesaje preciso en la última etapa del proceso de elaboración de la cerveza.

Dosificador de lúpulos con tornillo sin fin (3D):

Posee un tornillo sin fin accionado por un motor de corriente continua. Este dispositivo permite una dosificación precisa y controlada de los lúpulos, contribuyendo directamente a la calidad y consistencia de nuestras recetas de cerveza.

Características:



- Dosificación Controlada: El tornillo sin fin, alimentado por el motor de corriente continua, facilita una dosificación controlada de los lúpulos, permitiendo ajustes precisos según las necesidades específicas de cada lote.
- Adaptabilidad a Diferentes Variedades de Lúpulos: La versatilidad del dosificador y tornillo sin fin 3D nos permite trabajar con diversas variedades de lúpulos, manteniendo la integridad de sus características aromáticas y de sabor.
- Reducción de desperdicios: La dosificación precisa minimiza los desperdicios de lúpulos, optimizando el uso de insumos y mejorando la eficiencia general del proceso.



*Figura 16: Sistema de dosificado*

#### Estructura para Celda de Carga en Pesaje de Lúpulos:

Se diseñó e implementó una estructura 3D para montar una celda de carga. Esta estructura proporciona la superficie adecuada para el pesaje preciso de los lúpulos, asegurando una medición confiable y consistente en cada fase de la producción.

## Características:

- Superficie Robusta y Estable: La estructura 3D garantiza una base sólida y estable para la celda de carga, evitando interferencias externas que puedan afectar la precisión de las mediciones.
- Facilidad de Integración: La estructura fue diseñada considerando la facilidad de integración con la celda de carga, permitiendo una instalación sencilla y eficiente.
- Adaptabilidad a Diferentes Tamaños de Lotes: La superficie de pesaje proporcionada por la estructura es lo suficientemente amplia para adaptarse a diferentes tamaños de lotes de lúpulos, ofreciendo flexibilidad en nuestra producción.

## Diseño del esquemático

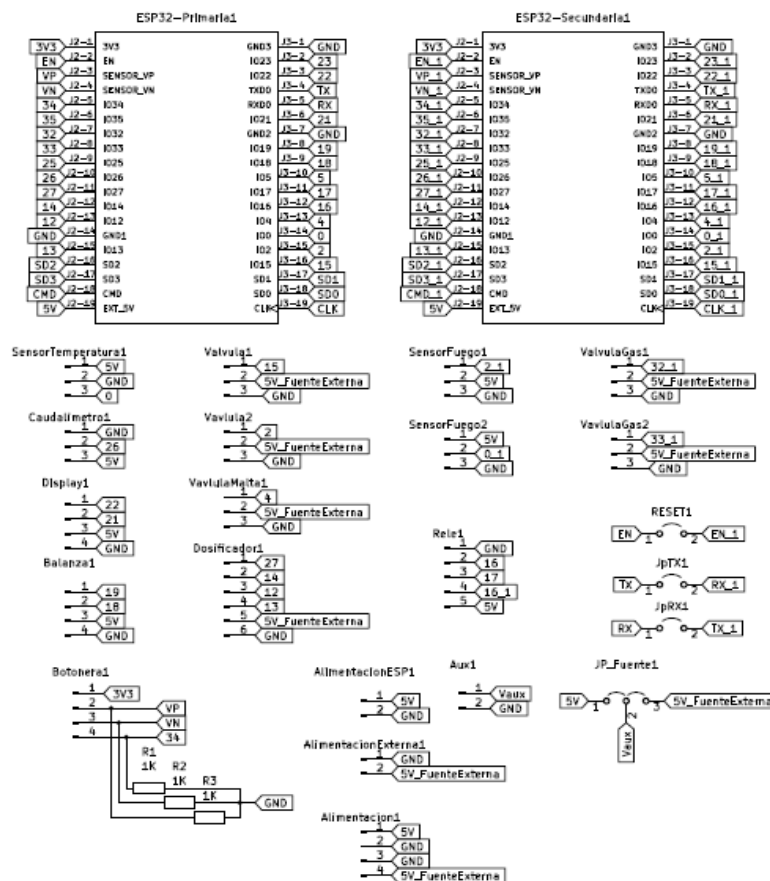


Figura 17: Esquemático eléctrico

# Firmware

## Diagrama de comunicaciones entre procesadores y IO

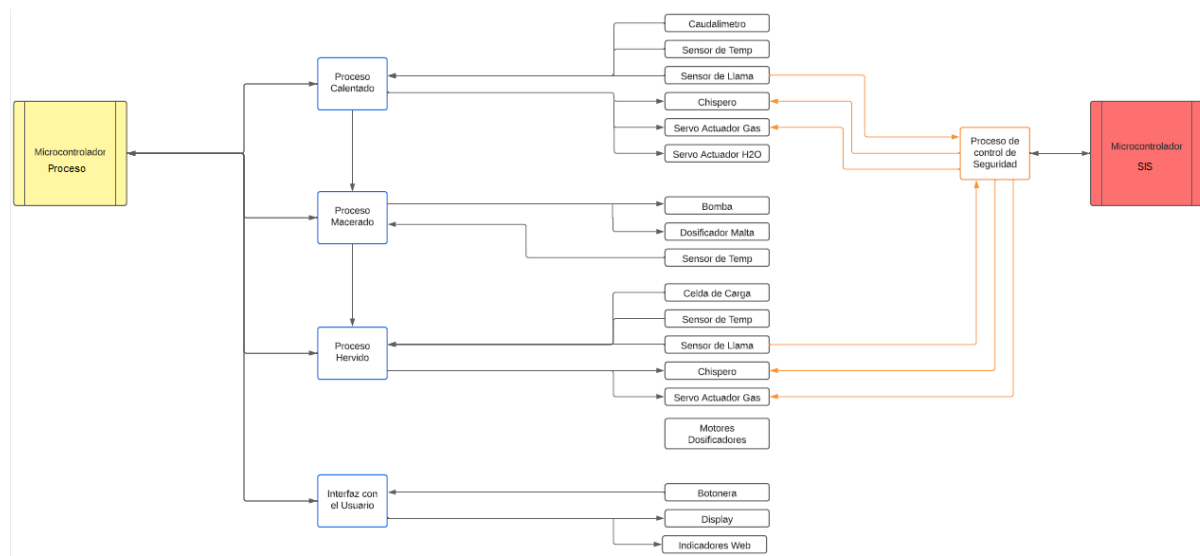


Figura 18: Esquemático de comunicación

El sistema está integrado por dos microprocesadores. Uno es utilizado para el proceso, donde se realizan todas las tareas relacionadas a la producción de cerveza y control de periféricos que no son críticos para la seguridad del equipo y los usuarios. Se muestra en el diagrama en la esquina superior izquierda en color amarillo.

El otro procesador, identificado con el color rojo en el diagrama, llamado SIS (Sistema Instrumental de Seguridad), es el encargado de controlar el manejo de los quemadores, la tarea más crítica. Este se encarga de procesar las entradas y salidas y contener los algoritmos diseñados para que el sistema sea confiable y mitigar los efectos secundarios provenientes de un desperfecto.

Es esencial contar con este sistema de seguridad que está por encima del control de proceso debido a que se deben mantener los altos estándares de seguridad que requiere la industria.

El sistema de seguridad consta de dos sensores de llama que están midiendo constantemente el estado de los quemadores. En caso de no haber llama presente y algún actuador de gas se encuentre abierto automáticamente se procede a cerrar las válvulas de gas y pasado un tiempo realiza tres intentos de encendido. En caso de que fracasen se aborta automáticamente el proceso indicando al usuario que debe apagar los controladores y continuar con el proceso de forma manual.

## Comunicación entre microprocesadores (Puerto Serie)

El siguiente fragmento de código describe la inicialización de la comunicación entre micros.

```
#include <HardwareSerial.h> //Comuniación Serie

#define ONE_WIRE_BUS 0 // pin 0 de la ESP
HardwareSerial SerialPort(0); // use UART0

if (SerialPort.available()) {
  //String proceso = SerialPort.readString();
  String proceso = SerialPort.readStringUntil('\n'); // Leer una línea desde el puerto serial
  Serial.println(proceso);
  if (proceso == "CalentadoON") {
    prendermechero();
  }
  else if (proceso == "CalentadoOFF") {
    CerrarValvula(1);
  }
}
```

## Comunicación WIFI

Aquí se cargan las redes predeterminadas a utilizar para la interfaz WIFI.

```
const char *ssid = "My_ssid";
const char *password = "My_password";
```

Luego se procede a la configuración de los puertos y se muestra un fragmento de cómo se escriben los valores que van hacia la página web.

```

// Initialize WiFi
void initWiFi() {
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print("Connecting to WiFi ..");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print('.');
    delay(1000);
  }
  Serial.println(WiFi.localIP());
}
void notifyClients(String sensorReadings) {
  ws.textAll(sensorReadings);
}
void handleWebSocketMessage(void *arg, uint8_t *data, size_t len) {
  AwsFrameInfo *info = (AwsFrameInfo *)arg;
  if (info->final && info->index == 0 && info->len == len && info->opcode == WS_TEXT) {
    String sensorReadings = getSensorReadings();
    Serial.println(sensorReadings);
    notifyClients(sensorReadings);
    //}
  }
}

void leervalores() {
  sensors.requestTemperatures();
  temp1 = sensors.getTempCByIndex(1);
  temp2 = sensors.getTempCByIndex(0);
  temp3 = sensors.getTempCByIndex(2);
  String sensorReadings = getSensorReadings();
  Serial.println(sensorReadings);
  notifyClients(sensorReadings);
}

// Web Server Root URL
server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  request->send(SPIFFS, "/index.html", "text/html");
});
server.serveStatic("/", SPIFFS, "/");
server.begin(); // Start server
lcd.clear();

```

## Pulsador de emergencia a través de interrupción

A continuación, se muestra la estructura utilizada para el pulsador de emergencia

```

void IRAM_ATTR BotonEmergencia() {
  estadoemergencia = 1;
}

```

Aquí se configura el tipo de interrupción.

```
pinMode(boton_rst, INPUT_PULLDOWN);
attachInterrupt(boton_rst, BotonEmergencia, RISING);
```

## Ejemplo de función de calentado y macerado.

En el siguiente ejemplo se mostrará el funcionamiento de los procesos mencionados, siendo estos controlados por sus entradas y salidas descritas en el diagrama de flujo. Luego los siguientes procesos se comportarán de manera similar, únicamente cambian sus entradas para el control.

Calentado:

```
void Calentado() {
    //prender mechero
    SerialPort.print("CalentadoON\n"); // Envía la orden de prender mechero a ESP2
    Serial.println("CalentadoON a ESP2");

    reloj.attach(5, leervalores);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("CALENTADO");
    while (fin == 0) //LA variable FIN se utiliza como bandera para mantener el proceso cíclico
    {
        tiempoInicio1 = millis(); // Registra el tiempo actual
        while (millis() - tiempoInicio1 < 5000) //Cada 5seg se refresca el dato
        {
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.printf("Temp1:%.1f %cC", temp1,223); //Escribe el dato en el display
        }
        if (temp1 >= 70) //Alcizamos la temp de proceso
        {
            SerialPort.print("CalentadoOFF\n");
            fin = 1;
        }
    }
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.printf("Fin Calentado");
    tiempoInicio1 = millis(); // Registra el tiempo actual
    while (millis() - tiempoInicio1 < 1500) {}
    SerialPort.print("CalentadoOFF\n"); //Se envía la orden de apagado de mechero ESP2
    tiempoInicio1 = millis(); // Registra el tiempo actual
    while (millis() - tiempoInicio1 < 1000) {}
}
```

Macerado:

```
void Macerado() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print("MACERADO");
  int aux=0; // Variable auxiliar para controlar la tolva
  AbrirValvula(1); //Comando para habilitar el paso de agua a la segunda olla
  caudalimetro = 0.0;
  lcd.clear();
  while(caudalimetro<=20.00){
    if (millis() - timebefore >= 500) //Cada medio segundo tomamos una muestra
    {
      Caudal.read();
      Serial.print("Volume (L) : ");
      caudalimetro = Caudal.getVolume()*1.4; // Compesamos por una constante el error
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.printf("Caudal:%.2f Lts", caudalimetro);
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.printf("Temp2:%.1f %cC", temp2,223);
      Serial.println(caudalimetro);
      timebefore = millis();
    }
    if (caudalimetro >= 5.00 && aux==0) {
      aux++;
      AbrirValvula(2); //Habilita el sermotor que controla la tolva
    }
  }
  CerrarValvula(1); // Cierra el paso de agua de olla 1 hacia olla 2
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Fin llenado");

  CerrarValvula(1); // Cierra el paso de agua de olla 1 hacia olla 2
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Fin llenado");
  tiempoInicio1 = millis(); // Registra el tiempo actual
  while (millis() - tiempoInicio1 < 30000) {} // 30min el tiempo de macerado
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Macerando...");
}
```

## Control de fuego Microprocesador 2

En el siguiente código se detalla en control de fuego realizado por el procesador 2.

```

void prendermechero1() {
  if (intentos < 3) // Se realizan 3 intentos de encendido antes de abortar la operacion
  {
    tiempoInicio = millis(); // Registra el tiempo actual
    while (millis() - tiempoInicio < 1500) {}
    AbrirValvula(1); // Habilita el servomotor que controla el gas
    tiempoInicio = millis(); // Registra el tiempo actual
    while (millis() - tiempoInicio < 250) {} // 250ms de estabilizacion

    // Se realizan 3 chispas por intento con 500ms de diferencia.
    // Se procede de esta manera para evitar que haya chispa continua
    //Permite disminuir el ruido generado por el chispero
    for (int i = 0; i < 3; i++)
    {
      digitalWrite(RELE, RELAY_ON); //Activa las bujias de encendido
      tiempoInicio = millis(); // Registra el tiempo actual
      while (millis() - tiempoInicio < 1000) {}
      digitalWrite(RELE, RELAY_OFF);
      tiempoInicio = millis(); // Registra el tiempo actual
      while (millis() - tiempoInicio < 500) {} // 500ms de estabilizacion
    }
    tiempoInicio = millis(); // Registra el tiempo actual
    while (millis() - tiempoInicio < 13000) {} // Esperamos 13 seg, tiempo necesario de lectura segura
    if (digitalRead(SensorFuego1) == LOW) {
      return; //Llama detectada
    } else {
      intentos++; //Si no se detecta fuego se realiza otro intento de encendido.
      CerrarValvula(1);
      tiempoInicio = millis(); // Registra el tiempo actual
      while (millis() - tiempoInicio < 2000) {}
      prendermechero1();
    }
  }
  return;
}
return;

```

Función de lectura de llama:

```

void leerfuego1() {
  if (digitalRead(SensorFuego1) == HIGH && intentos1 < 3) {
    intentos1++;
    Serial.printf("intento: %d\n", intentos1);
  }
  if (intentos1 == 3) {
    CerrarValvula(1); //Se aborta la operacion por seguridad
    reloj.detach();
    return;
  }
  if (digitalRead(SensorFuego1) == LOW && intentos1 != 0) //Si detecta llama reset intentos.
  {
    intentos1 = 0;
  }
  return;
}

```



# Diseño del PCB

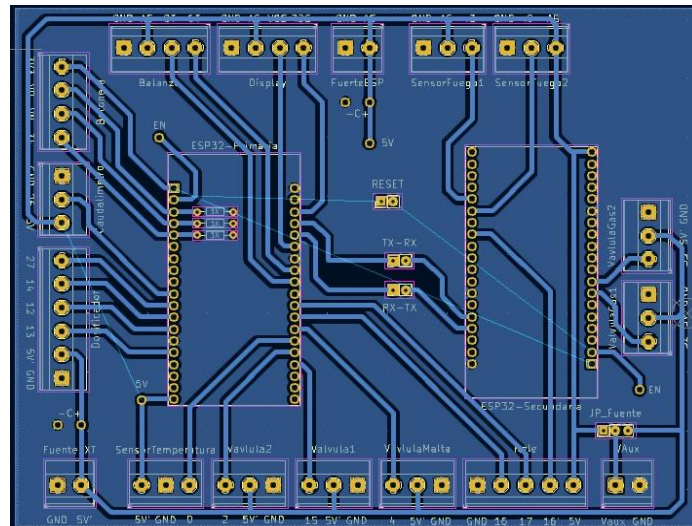


Figura 19:PCB 1

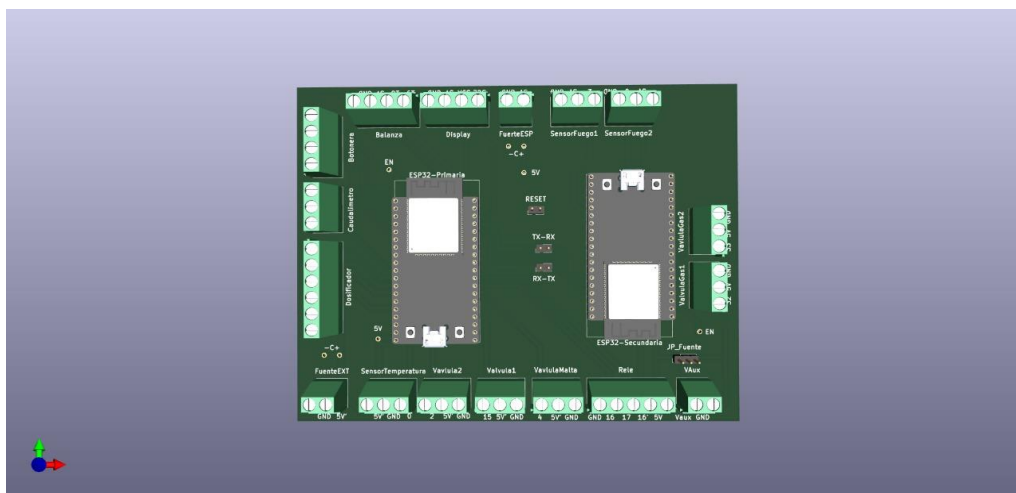


Figura 20:PCB 2

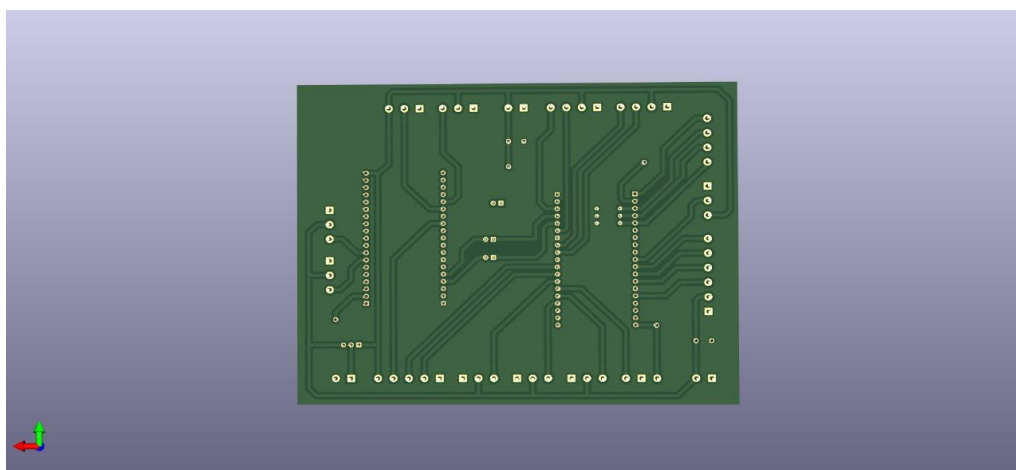


Figura 21:PCB 3

## Conexionado

Dispositivo	Color Cable	Pin	ESP32-1	ESP32-2
ServoOlla1	Rojo/Verde	VCC	6,2V	
	Negro/Rojo-Blanco	GND	GND	
	Naranja/Verde	SEÑAL	15	
ServoOlla2	Blanco/Rojo-Negro	VCC	6,2V	
	Azul/Negro	GND	GND	
	Verde	SEÑAL	2	
ServoMalta	Rojo/Negro-Blanco	VCC	5V	
	Negro	GND	GND	
	Naranja	SEÑAL	4	
ServoGas1	Rojo/Negro	VCC		5V
	Blanco/Rojo	GND		GND
	Verde	SEÑAL		32
ServoGas2	Rojo/Blanco	VCC		5V
	Azul/Rojo	GND		GND
	Verde/Blanco	SEÑAL		33
Caudalimetro	Rojo/Blanco	VCC	5V	
	Negro/Rojo	GND	GND	
	Azul/Blanco	SEÑAL	26	
Display	Naranja/Rojo	VCC	5V	
	Verde/Blanco	GND	GND	
	Azul/Rojo	SEÑAL	SDA-21	
	Blanco/Rojo-Negro	SEÑAL	SCL-22	
SensorLlama1	Naranja/Negro	VCC		5V
	Verde/Negro-Blanco	GND		GND
	Azul/Negro	SEÑAL		2
SensorLlama2	Blanco	VCC		5V
	Negro	GND		GND
	Azul	SEÑAL		13
MotorDosificador	Rojo/Negro-Blanco	VCC	5V	
	Negro/Rojo-Blanco	GND	GND	
	Azul/Blanco	SEÑAL	IN1-13	
	Verde/Negro-Blanco	SEÑAL	IN2-12	
	Blanco/Marron	SEÑAL	IN3-14	
	Naranja/Rojo	SEÑAL	IN4-27	
Balanza	Rojo/Verde	VCC	5V	
	Azul	GND	GND	
	Verde/Negro	SEÑAL	DT-19	
	Naranja/Negro	SEÑAL	SCK-18	
SensorTemperatura	Rojo	VCC	5V	
	Negro	GND	GND	
	Blanco	SEÑAL	0	
ReleSSR	Rojo/Negro	VCC	5V	
	Negro/Blanco	GND	GND	
	Blanco/Negro	SEÑAL		16
	Naranja	SEÑAL	17	
Botonera	Rojo/Negro	VCC	5V	
	Blanco/Negro	SEÑAL	VP-36	
	Naranja/Negro	SEÑAL	VN-9	
	Verde/Negro	SEÑAL	34	
Rele	Rojo/Negro	VCC	5V	
	Negro/Blanco	GND	GND	
	Rojo	SEÑAL	16	

En la implementación de nuestro proyecto, la conexión ordenada y eficiente de los diversos componentes a las placas ESP32 fue esencial para garantizar un funcionamiento preciso y confiable del sistema. Con el objetivo de simplificar la identificación de los cables y facilitar el mantenimiento, se emplearon cables de distintos colores para establecer una codificación visual clara en la conexión de cada componente.

Razones para la Identificación por Colores:

- Claridad Visual: La utilización de cables de distintos colores ofrece una identificación visual inmediata, permitiendo a los operadores y técnicos identificar rápidamente la función y el propósito de cada cable en el sistema.
- Facilidad de Mantenimiento: La codificación por colores simplifica las tareas de mantenimiento y solución de problemas. En caso de ser necesario intervenir en el sistema, los técnicos pueden ubicar y seguir los cables de manera más eficiente.
- Prevención de Errores: La identificación visual a través de colores reduce la probabilidad de conexiones incorrectas o confusiones durante la instalación y el mantenimiento, contribuyendo a la fiabilidad general del sistema.

## Problemas detectados

Durante el diseño y puesta en marcha se fueron dando problemas que fueron resueltos aplicando los conocimientos de ingeniería.

1- Falsas detecciones de llama: Un detector de llama utiliza un sensor para detectar la presencia de fuego o llama, lo realiza haciendo una captura de la longitud de onda que esté presente frente a él. Estos sensores suelen ser sensibles a la luz emitida por la llama y pueden convertir esa información en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un microcontrolador. El problema fué que para combustiones correctas (presencia de llama azul) la emisión se encuentra por debajo del espectro del rango de lectura, es por ello que se debió incorporar un espiral de alambre especial utilizado en calderas para que este tome color rojizo y este dentro del rango de lectura.

2- Incorrecta distribución de los cables: Debido a las frecuencias de operación y tensiones utilizadas por los distintos dispositivos se realizó un estudio detallado de cada uno de los componentes para definir los caminos más cortos para instrumentación que lo necesite como por ejemplo la celda de carga. Además se trenzaron todos los cables con el fin de reducir interferencias electromagnéticas, mejorar la resistencia mecánica y mejorar la estabilidad. Esto mejoró notoriamente la performance de los procesos.

3- Incorrecto conexionado de la instalación eléctrica: Debido a una mala configuración de la instalación eléctrica en uno de los clientes, se logró detectar que como consecuencia pueden producirse reseteos indeseados en los microcontroladores. Como solución se ofrece una revisión del conexionado eléctrico en el lugar donde se desee instalar el dispositivo.

## Conclusión Final

La culminación de este proyecto de final de carrera representa el resultado de un arduo trabajo y dedicación hacia el diseño, implementación y optimización de un sistema integral para la producción cervecera. Desde la concepción de la idea hasta la materialización del proyecto, cada etapa ha sido guiada por la búsqueda constante de la excelencia en términos de eficiencia operativa, precisión en los procesos y calidad en el producto final.

Cabe destacar que el hecho de que éramos tres individuos con compromisos y tiempos distintos para contribuir al proyecto, solo fortaleció nuestra determinación y nos enseñó la importancia de la comunicación efectiva y la coordinación. La flexibilidad y la capacidad para adaptarnos a los diferentes horarios de cada miembro del equipo demostraron ser esenciales para la consecución exitosa de nuestros objetivos.

En resumen, este proyecto no solo representa la conclusión de un ciclo académico sino también el comienzo de un nuevo emprendimiento en la producción cervecera artesanal. La sinergia entre la ingeniería, la tecnología y la pasión por la cerveza ha resultado en un sistema que no solo es eficiente y preciso, sino que también establece un estándar para la industria. Este logro colectivo refleja no solo conocimientos técnicos sino también un compromiso con la innovación y la mejora continua en la búsqueda de la perfección en la elaboración de cerveza artesanal.