

Premio Don Bosco XXXIV Edición

# Memoria del proyecto: Fermentadora doméstica “Cervecero”



## Resumen:

El proyecto consiste en un prototipo de fermentadora para la fabricación doméstica de cerveza. Utilizando materiales de bajo coste y el IoT para su control y monitorización. La fermentadora permite múltiples recetas por lo que puede utilizarse para varios cereales en función de una base de datos existente.

**Autor:** Daniel Ubalde Lagua

**Profesor tutor:** Daniel Aznar Miguel

**Categoría:** Tecnologías Industriales

## Índice de contenidos:

<b>1. Presentación del autor.</b>	<b>3</b>
<b>2. Antecedentes.</b>	<b>4</b>
<b>3. Objetivos del proyecto.</b>	<b>5</b>
<b>4. Descripción de la innovación.</b>	<b>5</b>
<b>5. Descripción del sistema.</b>	<b>6</b>
5.1 Descripción general del sistema	6
5.2 Dimensionamiento de actuadores	9
5.3 Estructura mecánica	11
5.4 Sistema electrónico	12
5.5 Sistema de control de procesos	14
5.6 Interfaz de usuario	16
5.7 Infraestructura de servidor	18
<b>6. Viabilidad del proyecto.</b>	<b>19</b>
<b>7. Conclusión final y agradecimientos.</b>	<b>20</b>
<b>8. Bibliografía y webgrafía.</b>	<b>21</b>

## 1. Presentación del autor.

Mi nombre es Daniel Ubalde, y esta es mi historia.

Desde una temprana edad mis inquietudes han sido saber cómo funciona el mundo y que hace que funcione en el mundo, y oh, casi se me olvida, el qué nos depara el futuro.

La razón por la que decidí decantarme por el mundo de la informática es simple: “es y seguirá siendo un mundo infinito de posibilidades”.



Actualmente estudio el primer año de Grado Superior en desarrollo de aplicaciones multiplataforma, anteriormente he realizado un Grado Medio de microinformática y redes.

Como podéis ver empecé por el principio, que es entender de qué están formados los equipos informáticos, mejor dicho de cualquier cosa que tenga un microprocesador, y cómo se comunican entre ellos. Una vez sentadas las bases toca aprender a programarlos, luego quien sabe. El futuro todavía no lo tengo claro, las tendencias del mercado cambian constantemente y más en estos días, estamos en una curva exponencial de avances tecnológicos, y es un poco difícil estar al día de todos ellos.

Mi filosofía es que nunca hay que quedarse satisfecho con algo, siempre hay que pensar cómo mejorarlo, y por muy negra que se ponga la situación siempre hay una salida.

La palabra “imposible” no consta en mi vocabulario, como suelo decir “Hay cosas difíciles pero no imposibles”, al final este mundo no está hecho para caminar, está hecho para volar. El límite lo pones tú.

Lo que me hace levantarme cada mañana es saber que voy a aprender algo que me servirá para algo más grande que todavía no soy capaz de concebir, pero saberlo es razón suficiente para seguir adelante con todo.

## 2. Antecedentes.

Nuestra sociedad experimentará un crecimiento masivo de datos y dispositivos, interfaces de usuario por voz, VUI (Voice User Interface), inteligencia artificial... La nueva revolución en el hogar y en la sociedad va a venir de la mano del uso masivo de internet en las cosas, IoT (Internet of things) y de las nuevas redes de datos de banda ancha [7].

En este mundo de distopico, cada vez más los usuarios quieren productos naturales y adaptados a sus necesidades. La figura del **cliente “Healthy”** que busca productos de alta calidad y baja manipulación está en auge. No solo en el apartado nutricional sino en otros sectores como la joyería, los perfumes... Y gracias al poder del comercio electrónico pequeños productores pueden vender sus productos a todo el mundo a través de de plataformas como Amazon o Aliexpress.

Para las grandes marcas este perfil no ha pasado desapercibido y están generando dispositivos con este tipo de productos. Sirva de ejemplo la máquina para preparar perfumes a medida, Noustique, generada por BSH y Puig [9]. Con la misma filosofía LG lanzó en 2019 durante la IFA, la Exposición internacional de Berlín. Un **prototipo conceptual** de fermentación casera de cerveza.



Como se puede ver en su guía de promoción de la idea. LG habla de una app para poder ver de forma remota el avance del proceso de la cerveza. Todo esto como se puede entender, va en la línea de lo expuesto con anterioridad. Los electrodomésticos del futuro contarán con las características avanzadas que aportan las tecnologías del IoT.

Y es en este punto donde arranca el proyecto, dar una vuelta de tuerca a las innovaciones de las primeras marcas. En este caso el fermentador de cerveza casera. Existen dispositivos como el BeerDroid similares al proyecto llevado a cabo. Si bien estos procesos cuentan con materias primas ya algo procesadas, formato “polvo”. El proyecto desarrollado, es una realidad, no un concepto, trabaja con productos naturales, es más barato, se ha desarrollado en poco tiempo y

demuestra que con talento y ganas se puede hacer cosas tan grandes como las que ofertan primeras marcas.

### 3. Objetivos del proyecto.

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

- Investigar el proceso de fermentación de los cereales. Particularmente el procesado de la cebada para la fabricación de la cerveza.
- Diseñar un prototipo de fermentadora doméstica utilizando IoT.
- Integrar el dispositivo en Smartphones y otras plataformas.
- Conseguir un fermentador “low cost” totalmente operativo y con materia prima lo más natural posible.

### 4. Descripción de la innovación.

Los sistemas actuales para la fermentación doméstica de la cerveza carecen en su mayoría de la guía paso a paso a la que estamos acostumbrados actualmente en la mayoría de los dispositivos. Al introducir un asistente en el proceso de fabricación casera de cerveza artesanal abrimos un negocio muy importante. El **modelo “nespresso”** sería un buen espejo en el que mirarse para explicar el modelo de negocio que se abre.

Los sistemas actuales ya ofertan packs de hágalo usted mismo, conocidos como DIY por sus siglas en inglés, pero el proceso no deja de ser algo complejo y tedioso. Teniendo que estar muy vigilante durante el mismo para evitar que todo se vaya al traste por un descuido. Otras firmas trabajan con un proceso más automatizado pero con materiales procesados. Este proyecto aporta la sencillez a la que está acostumbrado el usuario medio actual que radica en mirar una pantalla y seguir fielmente los pasos que en ella aparecen. Además de trabajar con **productos mínimamente procesados**.

Al automatizar más el sistema e incluir el IoT (Internet of Things) se abre un mundo de infinitas posibilidades. Ya que el sistema realmente sigue los pasos que marca una base de datos externa a la máquina y totalmente actualizable por el fabricante. Lo que le otorga al mismo todo el poder de las nuevas tecnologías. Dando al cliente nuevas recetas acordes a sus necesidades o gustos. Sugiriendo al usuario nuevos productos analizando sus compras. Mejorando la máquina remotamente mediante actualizaciones de firmware...

El **mercado** de una fermentadora de unas características como las que se plantean en este proyecto es un mercado muy fuerte. Ya que no se limita solo a los consumidores de cerveza. Si fermentamos otros cereales podemos contemplar como posibles consumidores todo el mercado asiático, donde muchos de sus productos alimenticios son fermentados.

En definitiva, automatizar el proceso de fabricación de cerveza, o de otros cereales o alimentos, es un negocio innovador que puede reportar muchas ventajas y beneficios. Y hacerlo saliendo de los productos procesados aporta un valor añadido muy importante.

## **5. Descripción del sistema.**

En este apartado se explica el funcionamiento del sistema desarrollado desde un punto de vista macroscópico y sin entrar en exceso en detalles técnicos que no aporten valor a la explicación. La explicación se ha subdividido en diferentes apartados en los que se trabajan los diferentes sistemas que componen el prototipo.

### **5.1 Descripción general del sistema**

El sistema trata de gestionar los procesos comúnmente realizados por los artesanos cerveceros domésticos independientemente de la receta a elaborar. Es decir, no se gestiona el malteado y molido de las diferentes maltas de cereal. Simplemente se partirá de maltas comerciales vendidas a granel ya molidas. Por lo que el proceso inicial del prototipo será la maceración de las maltas. El proceso de la elaboración de la cerveza será guiado a través de la interfaz web y de la pantalla LCD del frontal del dispositivo.



La **maceración** de las maltas se realiza mezclando las maltas molidas con agua. En el prototipo planteado se plantea añadir las maltas en bolsas textiles, tipo bolsa de té pero de mayor tamaño, que nos permitan reducir las partículas flotantes en el agua. La temperatura de maceración variará en función de la receta. Una temperatura muy habitual en las cervezas artesanas son los 67°C. No obstante el prototipo nos permite establecer curvas de temperatura que permiten recetas complejas en esta fase. Los tiempos de maceración se establecen en torno a la hora u hora y media comúnmente.

En esta fase obtenemos los azúcares fermentables de las maltas, como son las dextrinas y almidones. Existen multitud de recursos en internet que comentan esta fase con gran precisión - ver [1] y [2] - y que quedan en la sección de bibliografía a disposición del lector. Como en ellos se menciona otro punto importante es el “empaste” o la relación agua-malta. Y este será un punto a valorar en la creación de la cerveza. A la mezcla resultante de la maceración se le conoce como mosto.

Tras la maceración de las maltas el sistema realizará la **cocción**. Este apartado suele durar



entre 1 y 4 horas o más . Durante los últimos 10 minutos de cocción se añade el lúpulo que nos dará el amargor y el aroma a nuestra cerveza. En la imagen de la izquierda se ve un cogollo de lúpulo. Este proceso de cocción permite matar gérmenes y separar las

sustancias indeseadas del mosto que pueden ocasionar malos sabores [3].

Una vez terminada la cocción pasamos a la fase de **enfriamiento**. Hasta el momento todos los procesos descritos se han realizado en la cuba de acero inoxidable, cuba 1. Tras el enfriamiento del mosto, este se procesa en una cuba plástica extraíble, cuba 2. En el prototipo construido, la fase de enfriamiento se realiza en este cambio de cubas. El proceso se ha llamado trasvase. El enfriamiento se realiza haciendo pasar el mosto a través de un intercambiador con agua fría 0°C a contraflujo.

Este enfriamiento debe realizarse rápidamente y en un ambiente limpio para evitar bacterias no deseadas. La temperatura de enfriamiento es el punto desde el cual parte la siguiente fase que es la **fermentación**. En la siguiente tabla se muestran tres temperaturas típicas de la cerveza en función del tipo de la misma [3].

Tipo de cerveza	Temperatura para fermentación
Laguer	8 a 10 °C
Ale	18 a 20°C
Saison (Belga)	18 a 25°C

La fermentación es la clave del proceso de la cerveza. En ella la levadura que se añade al mosto convierte los azúcares existentes en alcohol. Y he aquí otro punto que puede hacer variar la receta. El **tipo de levadura**. Parafraseando a la web loscervecistas.com [5], en cervecería se utilizan comúnmente dos grandes familias de levadura:

- *Saccharomyces cerevisiae*, existe prácticamente desde siempre, es la que se empezó a utilizar para fermentar cerveza
- *Saccharomyces pastorianus*, más manipulada por la mano del hombre y que se tardó miles de años en descubrir. Tiene unos 500 años de antigüedad.



Aunque el tiempo de fermentación para el que está pensado el sistema es para cervezas de fermentación corta, menos de un mes, ya que son las más comunes.

Tras la fermentación llega el **reposo o maduración**. Esta maduración se puede realizar en barriles de madera u otros materiales o incluso en la propia botella. El tiempo de maduración es variable. En cervezas tipo Lambic esta maduración puede ser de años. Aunque normalmente las cervezas se suelen consumir, refrigeradas, poco después del embotellado en maduraciones más cortas. Menos de un mes.

Tanto el proceso de fermentación como de maduración se plantean en la cuba 2. Esta cuba es extraíble por lo que puede introducirse en el frigorífico (en verano) o en una zona con la temperatura adecuada en invierno. La monitorización de estos procesos está garantizada gracias a la sonda inalámbrica incorporada dentro de la cuba 2. La cuba 2 cuenta con un grifo para facilitar el embotellado del producto final.

## 5.2 Dimensionamiento de actuadores

Punto de partida para el dimensionamiento:

El dimensionado del conjunto completo viene dado por la cantidad de producto a obtener en cada fermentación. El sistema está ideado para la producción por tongadas o “batch”, siendo el producto final de **7 litros**. Durante la elaboración de cada una de las tongadas, el sistema completo está ocupado en el proceso.

Para la elaboración de 7 litros de cerveza artesana, consideramos necesario partir de los siguientes ingredientes:

- 8 litros de **agua**, para compensar las pérdidas por evaporación y el agua no extraíble de los posos. El agua tiene un elevado calor específico (4,18 J/g), por lo que dimensiona la potencia eléctrica total a instalar para conseguir unos tiempos razonables de cocción-maceración. En cuanto a su transporte por los diferentes recipientes, no presenta problema alguno, su condición fluida es la ideal y se incorporarán el resto de sustancias al agua para facilitar su desplazamiento.

- 2 Kg de **malta** de cebada u otros cereales. Para una densidad relativa de 0.6, ocuparán 1.2 l en la cuba. Su calor latente es muy bajo en comparación con el agua 1,2 J/g de producto. Su principal problemática es la obstrucción de conductos y la imposibilidad de desplazar sólidos en un sistema pequeño. Por ello, permanecerá confinada dentro de una malla textil dentro de la cuba de maceración.
- **Lúpulo y posibles aditivos**, en cantidades variables según la receta, pero con una masa despreciable en comparación con la del resto de ingredientes.

\* Masa del recipiente de maceración. Se tendrá en cuenta a la hora de dimensionar el calentador. Su calor específico\*masa será de 1430 J, para el modelo elegido. Estos ingredientes de partida, nos dan una cuba a plena carga de 9,6 Kg, 37,270 KJ\*°C<sup>-1</sup>

- CUBA DE MACERACIÓN: El volumen total estimado para el agua, malta, lúpulo, levadura y la malla textil filtrante son 11,5l. La cuba tiene una capacidad total de 17l, contando así con un volumen extra para impedir el rebosamiento al cometer posibles errores el usuario y contener el borboteo en caso de hervir el caldo. El material del recipiente de maceración es acero inoxidable 18/10, equivalente a AISI-304, con calidad alimentaria para resistir la corrosión a temperaturas de cocción.
- HORNILLO CALEFACTOR: Para elevar la temperatura lentamente 60 °C por etapas, requeriremos un calentador de, al menos, 500W para un tiempo de trabajo de 70 minutos. Más allá de este tiempo, se considera que el ahorro en componentes prolonga el tiempo de cocinado más allá del de una experiencia gratificante para el cervecero amateur.
- RECIPIENTE ENFRIADOR: Su volumen es exactamente la mitad del de la cuba de maceración. Contando con un foco frío a 0 °C, podrían enfriarse los 8l de mosto a una temperatura de 33 °C, suficiente para no matar las levaduras. Teniendo en cuenta que el calor latente de fusión del hielo es de 334,4 J/g, la presencia parcial de hielo incrementaría enormemente la eficacia de este elemento.
- INTERCAMBIADOR DE PLACAS: En pruebas experimentales, se obtuvieron tablas con valores de temperatura a lo largo del tiempo, utilizando la bomba de trasvase y cubas a 100 y 5°C. Se ha seleccionado un intercambiador comercial de 17 placas utilizado en origen para agua corriente sanitaria. Para modular de forma empírica el caudal y obtener un rendimiento elevado, se estrangula el caudal mediante una llave y se

mantiene un gradiente de temperatura de 15°C o superior entre los focos para no prolongar el tiempo de trasvase.

- TUBERÍAS: Para un transporte del volumen total, a una velocidad máxima de 0.25m/seg en tiempos inferiores a los 10 minutos, los tubos han de tener un diámetro interior mínimo de 8mm.
- BOMBA DE TRASVASE: Con 6W será suficiente. para compensar diferencias de altura y la pérdida de carga del intercambiador. No obstante, montamos una bomba de 18W para compensar el posible aumento de pérdidas de carga por obstrucciones debidas a restos de cereal en suspensión. Experimentalmente, se obtuvo un tiempo de trasvase de 240 segundos sin estrangular el circuito, por lo que la potencia extra de la bomba permitirá compensar las pérdidas de carga por obstrucciones y por estrangulación para aumentar la eficacia del intercambiador.
- ESTANQUEIDAD DEL CIRCUITO: Una vez sale el mosto de la cuba de maceración, el circuito es completamente estanco, incluyendo la cuba de fermentación. El exceso de aire, se evacuará por una válvula de sifón para impedir la entrada de microorganismos dañinos para el fermentado.

### 5.3 Estructura mecánica

Se ha optado por un sistema constructivo empleado en multitud de electrodomésticos de mediano y gran tamaño. La estructura consta de un **chasis metálico interno**, formado en nuestro caso por perfiles angulares de acero. Para la fabricación en serie, estos se sustituirán por chapas estampadas para reducir costes y simplificar el montaje del mismo.

La **envolvente exterior**, está fabricada en chapa de acero lacada en color blanco para su protección frente a la corrosión. Sobre ella se montan los elementos con los que interactúa el usuario, introducirá los ingredientes y extraerá el producto final por un grifo.. La envolvente está rematada por una tapa extraíble, para permitir la limpieza de las dos cubas. La parte trasera, permite la extracción del foco frío. La estética de la envolvente está pensada para que la parte trasera permanezca oculta, de manera similar a la de un frigorífico. El cervecero, se colocará sobre una encimera o una mesa en la cocina y requerirá de una toma de corriente.

## 5.4 Sistema electrónico

En este apartado se justifica la selección electrónica realizada. A grandes rasgos el sistema cuenta con dos electroválvulas, dos bombas, cuatro relés, dos pulsadores retroiluminados con led, un interruptor, un módulo de regulación **PWM**, un relé de estado sólido, un microcontrolador **ESP32**, una sonda **iSpindel**, y varios módulos **I2C** (Pantalla LCD, reloj de tiempo real, módulo de E/S). El sistema electrónico se sitúa en dos puntos de la máquina: Una caja estanca para el núcleo de control y la consola de mando para el interfaz de usuario. En el Anexo 1 se puede ver el esquema de conexionado del sistema implementado que a continuación se comenta.

El **microprocesador** seleccionado ha sido el **ESP32** en la variante de la marca **Heltec**, modelo **Wifi Kit 32**. Se trata de un dispositivo muy completo con una potencia de cómputo muy por encima de la necesaria para la aplicación. Pero su bajo coste junto con la gran capacidad de comunicación que posee ha hecho que sea el microprocesador seleccionado para este prototipo inicial. En prototipos posteriores si no se decide implementar nuevas características para el fermentador puede ser un elemento a tener en cuenta para el abaratamiento de costes.

El sistema cuenta con dos **electroválvulas** para gestionar el mosto durante los procesos de cocción, maceración y trasvase. Estas electroválvulas se han seleccionado para que soporten las altas temperaturas del mosto durante las fases mencionadas anteriormente. Para este prototipo inicial se ha optado por optar por unas electroválvulas de simple efecto de características industriales muy utilizadas para el control de procesos. Dado que la alimentación de las mismas se realiza a 24V de corriente continua y se trata de una conexión todo-nada de un solenoide, se ha decidido optar dotar al sistema de una fuente de alimentación específica. Y así aislar un potencial ruido eléctrico que podría afectar seriamente al funcionamiento del microcontrolador.

Para la selección de las **bombas** de recirculación de mosto y de recirculación del agua de refrigeración se ha optado por utilizar bombas de 12V de corriente continua. Por la misma razón que las electroválvulas se ha decidido utilizar una alimentación independiente para las mismas. En este punto hay que destacar que la temperatura ha vuelto a ser determinante en la selección de materiales. Concretamente en la selección de la bomba de recirculación donde se alcanzan

temperaturas del orden de los 100°C. Para el caso de la bomba de refrigeración se opta por una simple bomba de acuario lo que abarata considerablemente los costes.

El **sistema de caldeo** ha sido realizado mediante un hornillo eléctrico controlado mediante dos tecnologías: PWM para las pruebas realizadas con hornillo de 500W y control del disparo de un relé de estado sólido para potencias superiores a 500W. La razón para la utilización de estas dos tecnologías es la siguiente:

La tarjeta utilizada para la **regulación** PWM basa su funcionamiento en un transistor de potencia capaz de manejar hasta 500W. En las pruebas realizadas esta tecnología PWM nos permite una regulación excepcional de la potencia del sistema de caldeo. No obstante, el tiempo para calentar la cuba de maceración con 500W hasta unas temperaturas de ebullición es excesivo. Por lo que a la espera de adquirir una tarjeta con un transistor de mayor capacidad se ha decidido sustituir temporalmente esta tarjeta por un relé de estado sólido que nos habilita para instalar una resistencia de caldeo de 1000W en la que manejamos tiempos de calentamiento aceptables.

La **filosofía de diseño** ha sido la de utilizar módulos y placas, o shields, comerciales que otorgasen fiabilidad de funcionamiento y sobre todo reducir tiempos de desarrollo. La comunicación entre el microprocesador central y los diferentes módulos se ha realizado utilizando el bus I2C. La decisión tomada además de las ventajas mencionadas aporta una gran capacidad de ampliación del sistema dado que cualquier elemento adicional, a incorporar en un futuro, se puede “colgar” del bus de comunicaciones con facilidad y actualizar el software del sistema para incluirlo. La utilización de un bus de comunicaciones nos permite reducir considerablemente el cableado además de permitir un sistema de control distribuido si fuese necesario.

El **ESP32** cuenta con una **pantalla** propia en la tarjeta de desarrollo. Sin embargo, esta pantalla resulta de poca utilidad para el usuario final dado su tamaño y ubicación, por lo que ha sido descartada como pantalla para la interacción del usuario final de la fermentadora. Dado que se cuenta con la posibilidad de uso del bus I2C se ha optado por una pantalla LCD con conexión I2C que permite unas características más adecuadas. En versiones posteriores de la máquina se puede optar por otra variante de **ESP32** que no disponga de pantalla integrada.

Para poder controlar varios de los periféricos seleccionados el microprocesador necesita de elementos que hagan de “**driver**” y le permitan manejar otros niveles de tensión e intensidad. Por ello para controlar las electroválvulas y bombas se ha optado por utilizar relés. Y para regular el sistema de caldeo se opta por un módulo PWM si optamos por una solución de caldeo de 500W o el relé de estado sólido para soluciones de mayor potencia.

En las pruebas iniciales estos relés mostraron un comportamiento aceptable pero dado que la tensión de salida de ESP32 no daba la fiabilidad suficiente en pruebas posteriores se opta por alimentar estos relés por un **módulo de E/S I2C** que logra conmutar perfectamente los relés. En un prototipo para fabricación bastaría con seleccionar otros relés o incluso optoacopladores y descartar el módulo de E/S I2C que se ha incorporado.

El sistema cuenta adicionalmente con un **reloj de tiempo real** que se utiliza para llevar los tiempos de cada proceso aunque se produzca un fallo de suministro eléctrico.

Para el control de la temperatura se ha seleccionado una sonda **LM35** en la cuba 1 y una **sonda iSpindel** para la cuba 2 de fermentación. La sonda LM35 es una sonda muy barata y ampliamente utilizada que se ha instalado en una vaina de acero inoxidable para permitir que pueda sumergirse en la cuba 1. Para la cuba 2 se ha optado por una sonda ya desarrollada. Esta sonda es muy utilizada en el mundo de la cerveza artesana y se ha incorporado su lectura al sistema desarrollado.

Para finalizar este apartado, comentar que el sistema cuenta con un par de pulsadores retroiluminados con los que se permite al usuario resetear el sistema y para el proceso actual si es necesario. Ambos pulsadores se encuentran situados junto al interruptor principal en la consola de control junto con la pantalla LCD.

## **5.5 Sistema de control de procesos**

Como se ha visto en el apartado 5.1 las recetas de cerveza tienen una serie de procesos comunes. En este apartado vamos a comentar brevemente cómo se ha implementado el control de dichos procesos.

Para controlar los procesos que tienen lugar en la **cuba 1** se ha utilizado un microcontrolador **ESP32**, con él se hace un seguimiento de las temperaturas con la sonda de temperatura **LM35** y los tiempos de cada proceso con ayuda del módulo **RTC I2C**. Además el **ESP32** se encarga de toda la gestión del proceso en sí que tiene asignado, también controlar las bombas y servoválvulas conectadas a otro **módulo I2C de e/s**. La telemetría de datos se envía por el protocolo de comunicaciones **MQTT** y se procesa en **node-red**, donde hay flujos específicos de datos para su procesamiento, posterior almacenaje en la base de datos y distribución al usuario.

Durante la **maceración y cocción** se establece un control de temperatura con la sonda **LM35** anteriormente mencionada. El calor para realizar este proceso es realizado por un hornillo eléctrico con dos posibles filosofías de control en función de la potencia del mismo. Para el hornillo de 500W regulación **PWM**. Y para el hornillo de 1000W regulación de la potencia mediante el control del ángulo de disparo del relé de estado sólido. Este punto de las dos potencias del hornillo puede causar confusión en el lector y está justificado en el punto 5.4

Con objeto de asegurar una temperatura uniforme del mosto se realiza una recirculación del mismo mediante una bomba y un juego de electroválvulas.

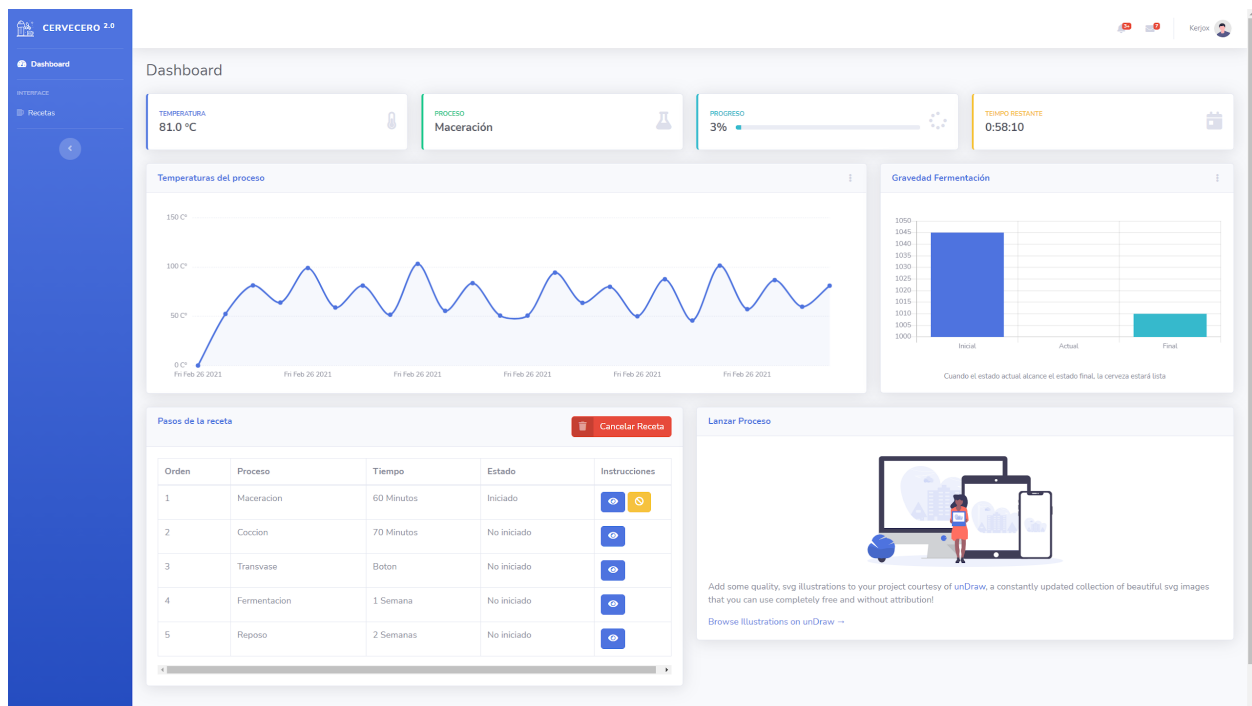
El **enfriado** es simplemente un trasvase de una cuba a otra. Este trasvase se realiza con la misma bomba de recirculación y activando la electroválvula de trasvase. Simultáneamente se activa un segundo circuito de agua fría para evacuar el calor del intercambiador. Este agua está impulsada por una segunda bomba. El final de este proceso se realiza por tiempo o por pulsación en el **pulsador de la consola de mando del frontal de la máquina**.

Para los procesos que tienen lugar en la **cuba 2** que son **fermentación y reposo**, se dispone de la telemetría de la sonda **iSpindel**, también se envían por **MQTT** y se procesan igual de igual manera que los acaecidos en la cuba 1. La finalización de estos procesos viene dada por el tiempo del mismo proceso o porque se ha alcanzado el grado de alcohol deseado, todo esto se muestra al usuario a través de la Web.

## 5.6 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es una página web realizada con HTML, CSS, JavaScript y PHP, que dispone de un login donde el usuario puede acceder a ella. El panel principal de la Web es un dashboard, constituido por una barra lateral con dos opciones: **Dashboard** o **recetas**, además de un desplegable en la esquina superior derecha con el usuario actual y el botón de **logout** para cerrar la sesión actual.

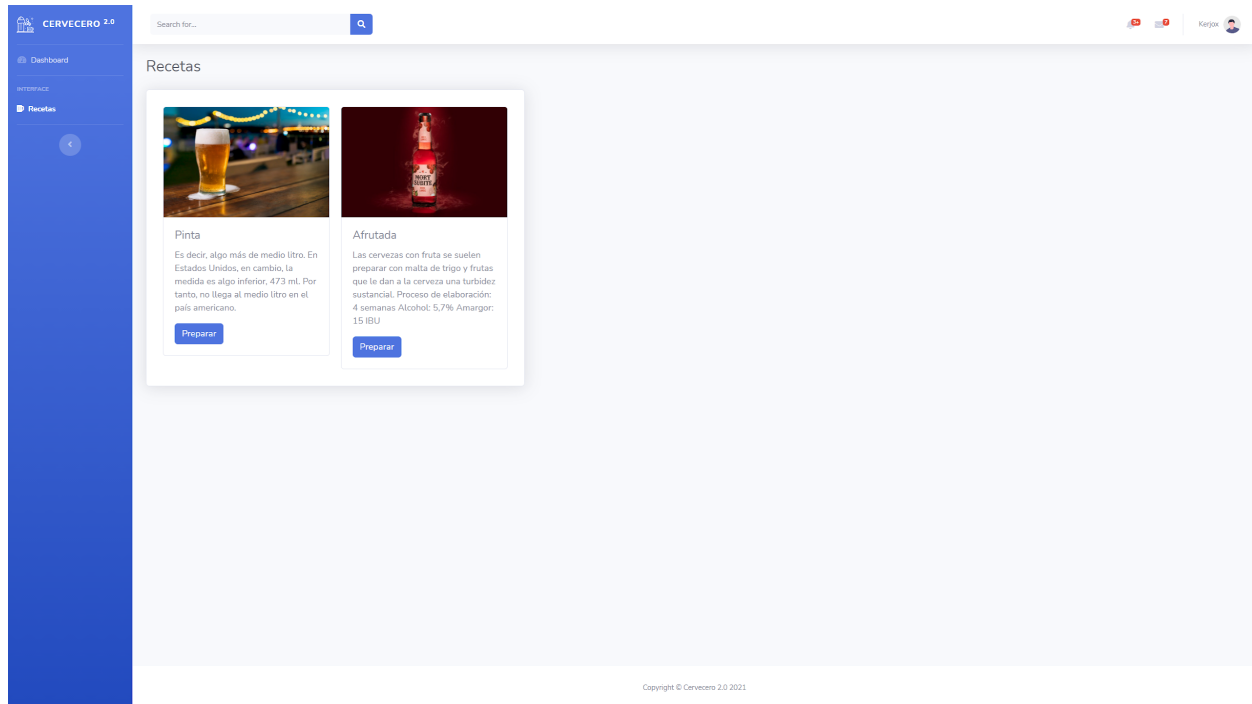
En el **dashboard** se muestra información de la temperatura, el nombre del proceso, el porcentaje que ha completado y el tiempo restante que le queda, junto con un gráfico con el registro de las temperaturas que han habido a lo largo del proceso, al lado de este gráfico hay otro gráfico de barras que nos indica la gravedad en el último estado de reposo para saber cuando nuestra cerveza está lista, mas abajo nos encontramos con una tabla de procesos en función de la receta, donde hay 1 botón que nos pedirá que seleccionemos una receta en caso de no tener ninguna para elaborar, lo que nos llevará a la segunda página donde están las recetas cargadas de la base de datos, y nos dará la posibilidad de cancelarla y seleccionar otra.





En cada fila de la **tabla**, nos aparecerá un botón de información y otro para lanzar el proceso en caso de poder lanzarlo, el botón de información nos dará las instrucciones específicas del proceso que se cargan a tiempo real de la BBDD, y el botón de lanzar el proceso lanzará el proceso correspondiente, posteriormente de haber lanzado un proceso, el botón pasará de estar verde a estar amarillo, ahora en vez de lanzar lanzar procesos, los cancelara, si se pulsa en él se abrirá un cuadro de diálogo para confirmar que se desea cancelar el proceso.

En la página de **recetas** se encuentran las recetas de las que dispone nuestra base de datos, las recetas se muestran encapsuladas en una tarjeta junto con una foto y breve descripción de la cerveza en cuestión, en el pié de la tarjeta hay un botón que nos permitirá cargar la receta para poder elaborarla y a su vez, nos mandará de vuelta al **dashboard**.



## 5.7 Infraestructura de servidor

La tecnología escogida para alojar todos los servicios ha sido **Docker**, gracias a los **contenedores** de docker nos permite ahorrarnos mucho tiempo a la hora de desplegar los servicios requeridos, ya que nos permite levantar toda la infraestructura con un solo comando y casi al instante en prácticamente cualquier hardware que soporte la tecnología de docker, lo que nos ha llevado a no requerir de un hardware muy potente, ya que actualmente está corriendo en una **Raspberry Pi 4** de 4GB.

Los contenedores que posee nuestra infraestructura son los siguientes:

- **Apache-php** - La página Web
- **MariaDB** - La base de datos
- **Node-red** - Gestiona y distribuye los datos
- **Mosquitto MQTT** - Broker encargado de recibir los mensajes del protocolo MQTT utilizado en el **ESP32** y la sonda.

Inciso: MQTT es el protocolo de comunicación por excelencia para IOT a nivel global.

## 6. Viabilidad del proyecto.

Las máquinas actuales para la fermentación doméstica de cerveza no comprenden todos los procesos en un solo dispositivo. Normalmente son varios los dispositivos a utilizar para realizar los diferentes procesos para la fabricación de cerveza. El precio de estas máquinas por separado y sin automatizar se encuentra en la horquilla de los 500 o 700€. Se trata de equipos pensados ya como pequeños o medianos electrodomésticos, según el modelo y su capacidad. El modelo de LG Homebrew [6], suponemos un precio de mercado de unos 500€ dadas las capacidades y precios de fermentadoras semiautomáticas como BeerDroid.

El dispositivo desarrollado, siendo todavía un prototipo, que son siempre más caros dado que los componentes no están tan optimizados como en modelos para la producción, se encuentra muy por debajo de estos valores. Rondando los 400€. Evidentemente, partiendo de la reducción de los costes mencionados, se llega a la conclusión de que el producto es muy viable. Máxime cuando los modelos de alta gama, como el LG Homebrew, disponen de las características avanzadas de las que disfruta nuestro dispositivo para el usuario, derivadas del IoT, y para la empresa comercializadora, derivadas del Big Data. El dispositivo desarrollado tiene todo el potencial de los modelos de alta gama y un precio sensiblemente inferior.

## 7. Conclusión final y agradecimientos.

Ha sido todo un reto para mi, Daniel Ubalde, ya que nunca había tenido la oportunidad de aplicar mis conocimientos en ningún proyecto que fuese a algún lado, todas las horas que le he dedicado han sido recompensadas con pequeños avances que finalmente conforman el proyecto, además de una experiencia y satisfacción incalculable.

El trabajo de investigación no siempre se tiene que ver reflejado, a veces las pequeñas cosas son las que marcan el camino para afrontar desafíos que antes creías imposibles. Durante el proceso has podido encontrar callejones sin salida y algún que otro quebradero de cabeza, pero lo importante no es el problema, si no la solución, lo que me ha llevado a interpretar la solución como parte del todo, y a pensar de la forma correcta, lo que me ha dado una lección de por vida, nunca te conformes con que funcione, si no que investiga si hay formas mejores de hacer lo mismo, saber porqué y cómo lo has logrado. Está nueva filosofía de saber que vas por el buen camino, te hace ver nuevas oportunidades de aprender más donde otros ven obstáculos. Y es el camino que pienso seguir.

En cuanto al prototipo final, se han cumplido las expectativas que se esperaban, que eran que funcionase principalmente y que fuese capaz de elaborar cerveza con el software desarrollado para el ESP32, la interfaz de usuario si se piensa continuar con el proyecto habría que hacerla mejor con nodeJs y no con PHP, ya que es más flexible.

Este proyecto podría ser el germen de una startup. Llegando a comercializar el prototipo una vez se abaraten los costes de fabricación y se detecten unas condiciones favorables de mercado. En ningún caso cabe descartar que el producto crezca en el seno de una empresa ya existente ya como empresa colaboradora o como propietaria vendiendole el trabajo realizado.

No quiero dejar pasar la oportunidad de agradecer a todas las personas que han ayudado durante todas las etapas de desarrollo de este proyecto y a todo el cariño que le han puesto, ya que sin ellos no hubiese sido posible. ¡GRACIAS!

## 8. Bibliografía y webgrafía.

A continuación se citan algunas de las fuentes consultadas para la elaboración de este proyecto.

- [1] <https://brewmasters.com.mx/>
- [2] <https://cervezomicon.com/>
- [3] <http://bierecab.com/>
- [4] <https://www.cerveza-artesanal.co/>
- [5] <https://www.loscervecistas.es/>
- [6] <https://www.lg.com>
- [7] <https://www.bbvaopenmind.com/>
- [8] <https://www.autonomosyempreendedor.es>
- [9] <https://noustique.com/>