



**Universidad  
Andrés Bello®**

UNIVERSIDAD ANDRES BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Industrias

**PROYECTO DE AUTOMATIZACION DE PLANTA DE CERVEZA  
ARTESANAL “EASY BREWING”.**

Tesis de pregrado para optar al título de Ingeniero en Automatización y Robótica.

Autor:

Diego Joaquín Castillo Salinas.

Profesor Guía:

Leopoldo Pavesi.

Santiago de Chile, 2017.

## Agradecimientos

A mi profesor guía y tutor Leopoldo Pavesi, quien me motivo y apoyó constantemente para resolver dudas y llevar a cabo el proyecto

A mi tío Juan, quien me ayudo y guio en el montaje y construcción del sistema.

A mi padre Jorge y a mi madre Nieves por su paciencia, amor y apoyo incondicional durante este largo proceso de estudios.

A mis tías Rosa y Sonia, quienes me ayudaron con el financiamiento, apoyo motivacional y siempre creyeron en mis aptitudes para llevar a cabo el proyecto.

A mi novia y compañera Valentina, por apoyarme y creer en mí durante el proceso, por su incondicional amor y motivación y por su constante disposición para ayudarme en lo que fuese necesario.

A Dios por esta hermosa vida y por darme la oportunidad de recibir educación.

## Índice

Resumen .....	7
Introducción.....	8
Fundamentación del Tema .....	8
Procedimiento de Trabajo .....	9
Objetivo General.....	10
Objetivos específicos .....	10
Alcance del Proyecto .....	10
Limitaciones del Proyecto .....	10
Planificación del Proyecto.....	11
Capítulo I.....	12
Procesos Fundamentales .....	12
Capítulo II .....	18
Automatización de los Procesos .....	18
Equipamiento del Sistema .....	18
Hardware de control.....	30
Esquema de Montaje.....	40
Descripción del montaje.....	41
Diagrama de Conexión de Relés.....	42
Descripción de la Conexión.....	43
Capítulo III .....	45
Programación del Controlador del Sistema.....	45
Capítulo IV .....	48
Análisis de Costos.....	48
Costo de Inversión .....	48
Beneficio Económico de Proyecto.....	51
Capítulo V .....	53
Resultados, Conclusiones y Recomendaciones .....	53
Ventajas del Proyecto.....	53

Desventajas del proyecto.....	54
Conclusiones.....	54
Resultados del sistema .....	55
Recomendaciones .....	56
Bibliografía.....	57

## Índice de Tablas

Tabla 1.0: Carta Gantt de Planificación.....	11
Tabla 1.1: Tabla de Gasificación.....	17
Tabla 1.2: Costos.....	49
Tabla 1.3: Comparación de Costos.....	50
Tabla 1.4: Beneficio Económico.....	51

## Índice de Figuras

Figura 1.0: Fondos de Acero Inoxidable.....	19
Figura 1.1: Falso Fondo de Acero Inoxidable.....	20
Figura 1.2: Bidón de Agua de Lavado de Grano.....	22
Figura 1.3: Bomba de Recirculado.....	23
Figura 1.4: Válvulas Solenoide.....	25
Figura 1.5: Válvulas Diafragma.....	26
Figura 1.6: Calefactores 3000W.....	28
Figura 1.7: Serpentín de Cobre.....	29
Figura 1.8: Controlador Arduino Mega.....	31
Figura 1.9: Pantalla LCD KeypadShield.....	33
Figura 2.0: Modulo 8 Relés 5V.....	34
Figura 2.1: Contactor Monofásico 25A.....	36
Figura 2.2: Sensor de Temperatura DS28B20.....	38
Figura 2.3: Esquema de Montaje.....	40
Figura 2.4: Esquema de Conexión de Relés.....	42
Figura 2.5: Esquema de Conexión de Contactores.....	43
Figura 2.6: Esquema de Conexión de Sensores DS18B20.....	44
Figura 2.7: Programación Librerías, Void Setup.....	46
Figura 2.8: Programación Void Loop.....	46

Figura 2.9: Programación Secuencia de Actuadores.....47  
Figura 3.0: Grafico de Perfil de Temperatura.....55

## Resumen

La presente obra tiene como finalidad explicar definir y evaluar un proyecto de elaboración de un sistema automático de producción de cerveza artesanal. Este sistema está compuesto por sensores, actuadores y el equipamiento necesario para llevar a cabo el diseño e implementación de un sistema de control de elaboración de cerveza artesanal

La obra está compuesta por 5 capítulos donde se explican los diferentes procesos fundamentales para elaborar esta bebida alcohólica, se definirá y explicara el equipamiento correspondiente con el que es llevado a cabo el sistema, como también los dispositivos que ejecutaran cada tarea necesaria para llevar a cabo los procesos fundamentales, se definirán los componentes electrónicos que controlan cada dispositivo que forma parte del sistema. También se evaluara y analizaran los costos y el beneficio económico del proyecto y se mostraran los resultados obtenidos y las conclusiones del mismo.

## Introducción

La cerveza es y ha sido una bebida alcohólica preferida por muchos a lo largo del tiempo, encontrando antecedentes del origen de su desarrollo en los pueblos de los imperios mesopotámicos y egipcios, resultado de fermentar los cereales previamente germinados en agua en presencia de levadura.

Las razones por las cuales se decidió tratar este tema son el constante aumento de la demanda de cerveza artesanal en Chile, como también el elevado aumento de productores y marcas de cerveza artesanal en Chile.

La principal inquietud para llevar a cabo este proyecto fue ¿de qué forma se puede realizar un sistema de elaboración de cerveza artesanal de manera automática, con la menor intervención de la mano del productor al más bajo costo posible?

Bajo esta interrogante nace la necesidad de facilitar la ejecución de los procesos de manera eléctrica y no manual como se acostumbra llevar a cabo el proceso de elaboración.

## Fundamentación del Tema

El trabajo que se presenta surgió a partir de una visita del profesor Leopoldo Pavesi a una feria de cerveza artesanal, donde a través de pláticas con una productora de cerveza artesanal surgió la problemática de aliviar el trabajo humano que requiere la elaboración de cerveza artesanal, y bajo esta misma problemática aumentar la cantidad de producción a través de la selección, comunicación y montaje de sensores, actuadores y equipamiento para automatizar la planta de cerveza artesanal.

Bajo esta problemática se decidió realizar un curso de cerveza artesanal con la finalidad de comprender los procesos fundamentales e elaboración de cerveza, y así, crear un prototipo de planta de cerveza artesanal automatizada.

## Procedimiento de Trabajo

El presente proyecto muestra el diseño de control automático en un prototipo de planta de cerveza artesanal con la finalidad de llevar a cabo el proceso de la elaboración de la cerveza de forma eficiente, segura e ininterrumpida.

Se presentara la problemática de investigación con su respectiva solución, se proseguirá definiendo los objetivos del presente proyecto para luego continuar con el cuerpo de la tesis que fue dividido en 5 partes (capítulos) con la finalidad de segmentar el desarrollo del proyecto para lograr un mejor entendimiento del mismo.

El desarrollo del proyecto cuenta con la explicación de los procesos fundamentales de la producción de cerveza artesanal, se continuara definiendo el equipamiento y los componentes necesarios para llevar a cabo el proyecto. Posterior a la presentación y descripción de los elementos se explicara el desarrollo y funcionalidad del software de control. Luego de procederá a evaluar los costos de inversión para el proyecto y la evaluación del beneficio económico del proyecto.

Finalmente se presentaran las conclusiones del proyecto y los resultados del sistema.

## Objetivo General

- Obtener el título de Ingeniero en Automatización y Robótica

## Objetivos específicos

- Realizar un sistema de control automatizado para la implementación en el proceso de elaboración de cerveza artesanal.
- Redactar un algoritmo de control para desarrollar las tareas en tiempo real.
- Evaluar el beneficio económico del proyecto.

## Alcance del Proyecto

El sistema de control debe ser capaz de producir 20 litros de cerveza de manera fluida, respetando los parámetros correctos de la receta a utilizar.

## Limitaciones del Proyecto

La principal limitación del proyecto es el presupuesto inicial con el que se cuenta para llevarlo a cabo. A pesar de que el proyecto se diseñó para ser implementado bajo un costo reducido, de todas formas es necesario un monto no menor de dinero para la compra de los componentes y equipamiento necesario para el sistema.

### Planificación del Proyecto

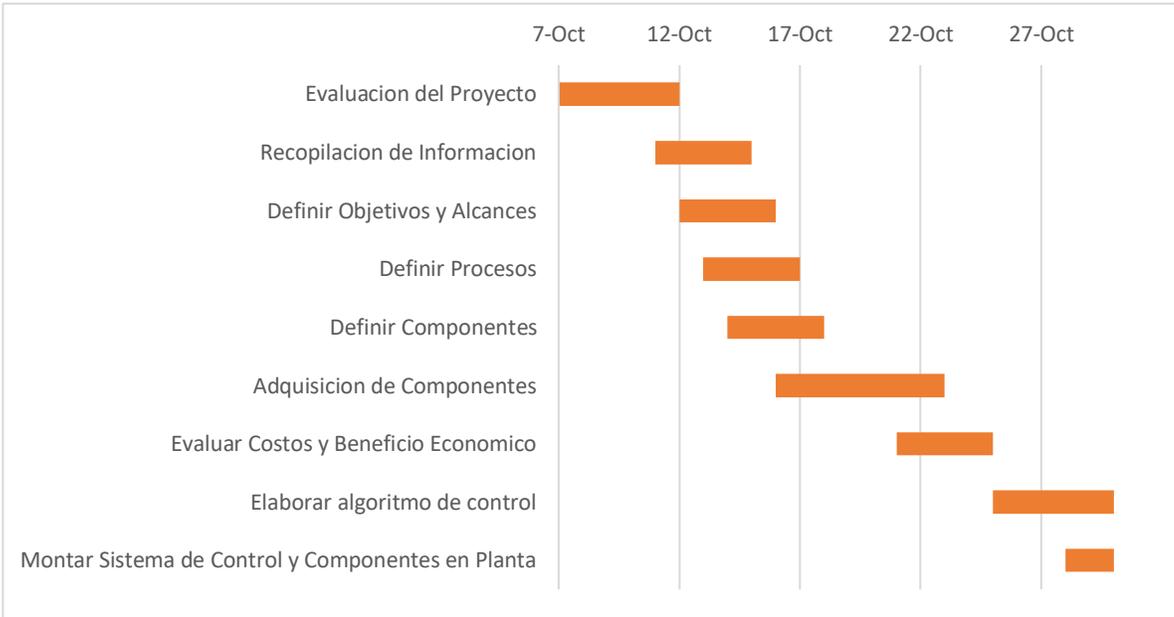


Tabla 1.0: Carta Gantt de Planificación

## Capítulo I

### Procesos Fundamentales

Para elaborar cerveza es necesario una serie de procesos fundamentales para asegurarse de que esta deliciosa bebida sacie la sed de nuestro paladar con el mejor sabor posible. A continuación serán explicados los procesos en el orden que deben ser ejecutados en la práctica, comenzando con la Maceración.

El objetivo de este proceso es poner en contacto el Agua y la Cebada malteada para extraer y disolver todas las sustancias presentes en la malta y gracias a la acción de las enzimas y azúcares fermentables del grano, transformarlas químicamente en sustancias que sean metabolizadas por las levaduras, para que así sea posible transformarlas en alcohol.

El método de maceración a utilizar se llama maceración simple, el cual consiste en realizar una infusión a una única temperatura durante todo este proceso, esta fluctúa por lo general en 67°- 68° C, bajo este método se activan las enzimas “alfa amilasa” y “beta amilasa” que son las que proporcionan más azúcares fermentables. Esto se puede traducir en la obtención de cervezas con mayor cuerpo.

La razón más común es 1:4 (donde una parte es de malta y 4 son de agua), ésta dada según cada receta. Cabe resaltar que el agua debe ser de alta pureza ya que esto determina gran parte del sabor de la cerveza.

Con este proceso llevaremos a cabo la mezcla de agua con granos malteados de cebada el cual es llamado Mosto, un jugo que contiene todo aquello que el elaborador ha extraído del grano disuelto en agua. El Mosto debe ser agitado unas cuantas veces durante el proceso para asegurarse de que se forme una mezcla homogénea.

Gran parte de las recetas que se encuentran en internet o en libros especializados indican el tipo de macerado y los tiempos y temperaturas involucrados.

La temperatura a la que deberá estar el agua, previo a la incorporación de la cebada malteada está dada por:

$$T^{\circ}H_2O = \frac{T^{\circ}\text{Macerado} \times [\text{Lt. } H_2O + (0.4 \times \text{Kg. Malta})] - (0.4 \times \text{Kg. Malta} \times T^{\circ}\text{Malta})}{\text{Litros } H_2O}$$

Luego de la infusión, durante la etapa de Maceración se debe realizar un recirculado del mosto, puesto que al abrir la llave de la olla, lo primero será mosto con algunas impurezas como cascaras de grano que pueden haberse filtrado desde el falso fondo. Para recircular tan solo basta con abrir levemente la llave de la olla y mediante un jarro proceder a vaciar el contenido en la misma olla por encima, el objetivo es clarificar el Mosto y que las cascaras queden depositadas sobre los granos que se encuentran en el interior de la olla.

Luego de recircular el mosto que se encuentra en el fondo de la olla y cuando este se encuentre libre de impurezas, se procede a abrir la válvula de la olla levemente para poder trasvasiar el mosto hacia la olla de cocción, esto implicara que la cantidad de mosto en la olla de maceración disminuirá, por lo que se procede a lavar el grano, Esto consiste en hacer correr agua a través de la masa de granos que queda en medio de la olla, logrando así generar una especie de filtro con los granos. Es importante que la temperatura del agua de lavado no debe superar los 75°C para extraer el azúcar residual. Otro punto destacable es que el lavado se debe realizar a flujos similares entre el mosto que va hacia la olla de cocción y el agua de lavado dejando idealmente una capa de 1 cm. de espesor de mosto y agua del lavado.

Cuando ya tenemos el mosto trasvasiado a la olla de cocción procedemos con el proceso de cocción. En este proceso, el mosto debe ser llevado a ebullición (97°-8°C) durante una hora aproximadamente. En esta etapa se adicionan los lúpulos, los que aportaran el amargor, sabor y aroma al producto final. Dependiendo del estilo de cerveza a elaborar,

se puede realizar desde una adición de lúpulos hasta lo que uno desee. Por lo general se realizan 3 adiciones:

- **Amargor**, se realiza al comienzo de la cocción y generalmente se utilizan lúpulos con alto porcentaje de alfa-ácidos.
- **Sabor**, se realiza después de la mitad del proceso de cocción, utilizando lúpulos con un menor porcentaje de alfa-ácidos.
- **Aroma**, se realiza unos minutos antes de terminar la cocción y se utilizan lúpulos más finos.

Una segunda función de la etapa de cocción es pasteurizar el mosto, eliminando de esto cualquier riesgo microbiológico de patógenos que puedan afectar la salud de las personas. Como función complementaria genera reacciones que otorgan color a la cerveza y también las altas temperaturas permiten la evaporación de compuestos azufrados.

Cabe destacar que el tiempo de cocción también variara dependiendo del estilo de cerveza a elaborar. La mayoría de las recetas indican este parámetro.

Es importante destacar que durante esta etapa la olla debe estar descubierta para facilitar la elaboración de los compuestos.

Cuando el proceso de cocción este punto de finalizar, es necesario realizar el siguiente proceso, y con este nos referimos al centrifugado. El objetivo de este proceso es precipitar el lúpulo y principalmente las proteínas como co-ayudante en este proceso, se utiliza un clarificante de mosto, el cual se añade unos 5 minutos antes de terminar la cocción y cuyo objetivo es aglutinar proteínas. La manera de proceder con el centrifugado es agitar vigorosamente el mosto en un sentido circular, revolviendo fuertemente durante un par de minutos.

Para realizar una correcta fermentación de la cerveza, es necesario llevar el mosto a una temperatura de 20 – 30 °C para que así la levadura, que será posteriormente añadida, realice una óptima conversión de los azúcares en alcohol. Es por esta razón que al terminar la hora de cocción del mosto se procede a enfriar el mismo mediante un serpentín de cobre

el cual es conectado a la red de agua potable y a través de este se hace circular agua a una temperatura baja la cual absorberá el calor al circular mediante el sistema, y así podrá realizar su principal función que es disminuir la temperatura del mosto de los 98°C a los 22°C aproximadamente, los cuales son requeridos para que la levadura actúe sobre su rango de temperatura ideal de desempeño.

Una vez terminado la etapa de enfriado del mosto se procede con la etapa de fermentación del mismo, en la cual su principal tarea es proporcionarle el alcohol a la cerveza. Para esto, se debe trasvasijar esta mezcla al fermentador, el cual debe encontrarse sanitizado en su totalidad para evitar la contaminación.

Previamente, la levadura debe ser activada 10 minutos antes de que el mosto llegue a la temperatura final de enfriado, para esto se debe mezclar la levadura con 100 ml de agua a 27°C y mantenerlo ahí durante 10 minutos. Cuando ya se trasvasijo la mezcla al fermentador, se agrega la levadura. Acto seguido, se debe tapar el fermentador y posteriormente se debe colocar el Airlock, el cual consiste básicamente en una trampa de aire la cual permite la salida de CO<sub>2</sub> producido por la fermentación, y a su vez impide la entrada de cualquier contaminante dentro del fermentador.

El tiempo de fermentación y la temperatura a la cual debe ser mantenido el fermentador dependerá del tipo de cerveza a elaborar. Para cervezas Lager, se deberá mantener el fermentador en un ambiente a 10°- 15° C durante 10 – 20 días. Para cervezas Ale, se deberá mantener a unos 18°- 20° C durante 7 a 8 días.

Para poner el tema en contexto, la levadura es lo que hace que el mosto se convierta en cerveza. Al consumir las azúcares de la malta, estos pequeños organismos hacen que la malta fermente. Crea CO<sub>2</sub> y alcohol, el producto final siendo la bebida exquisita llamada cerveza. Pero no todas las levaduras que se usan son iguales.

Existen distintos tipos de levadura, siendo los más comunes las denominadas levaduras Ale y Lager.

En Ales, las levaduras son denominadas altas, pues durante el proceso de fermentación suben al a superficie junto con la espuma que se crea. Con este tipo de levadura, se debe de fermentar entre los 15°C a 24°C, pues es en este rango de temperatura, que la levadura puede crecer y vivir. Esta fermentación produce una cerveza con mucho aroma y con sabores más afrutados además de terrenales y complicados. Se fermenta durante un periodo corto, normalmente no más de unas semanas.

Por otra parte, Las lagers, es la otra categoría de cervezas. Estas tienen que dejarse fermentar entre los 6°C (42°C) y 13°C (55°C), y se denominan levaduras bajas, por quedarse en la parte de debajo de los botes durante el proceso. El tiempo de fermentación es más largo que las ales; normalmente son de semanas a meses, por la temperatura más fría. Las levaduras bajas también producen menos sub-productos de la fermentación que son los que dan sabor. Por esto se considera que los aromas y sabores de los lagers son más limpios y frescos que las ales.

Una vez que finalizó la etapa de fermentación, se debe trasvasiar la cerveza a otro fermentador el cual debe estar también sanitizado. El objetivo del trasvasije es separar la cerveza de los restos de levadura que se formara en la primera fermentación.

Luego de trasvasiar la cerveza, se da paso a la etapa de maduración de la cerveza, este proceso consiste en conservar la cerveza en un ambiente helado a unos 3°- 5°C durante aproximadamente 1 semana.

En esta etapa usualmente se adiciona clarificante de maduración (o clarificante frio) a una relación de 1 gramo por cada 20 litros de cerveza.

Cuando se dan por finalizados los procesos de fermentación y maduración, se está en condiciones de envasar el producto y dar paso a la segunda fermentación dentro de la botella. Para esto se debe mezclar la cerveza con un tipo de azúcar llamado Dextrosa, que es básicamente glucosa proveniente de la fruta, de acuerdo a la siguiente tabla:

Cantidad de Dextrosa	Tipo de gasificación
5 gr./Lt.	Baja
6 gr./Lt.	Media baja
6.5 gr./Lt.	Media
7 gr./Lt.	Media alta
7.5 gr./Lt.	Alta
8 gr./Lt.	Muy alta (Puede explotar)

Tabla 1.1: Tabla de Gasificación

La solución con dextrosa se prepara con 1 litro de la misma cerveza fermentada, se revuelve y se agrega al mosto que se encuentra en el madurador, se debe agitar cuidadosamente durante unos segundos para que se distribuya homogéneamente la mezcla.

Cuando la mezcla entre la cerveza y dextrosa haya finalizado se da paso a la etapa de la segunda fermentación en la botella. Este es un proceso mediante el cual la levadura que quedo en la botella va a “alimentarse” del azúcar que agregamos, esto provocara que se genere alcohol y CO<sub>2</sub> (el gas tan característico que se escucha al destapar la botella).

La botella debe almacenarse durante 10 a 12 días a la misma temperatura a la cual se realizó la fermentación inicial y se debe evitar exponerlas a la luz y el sol.

Luego de esta serie de etapas se puede dar por concluido el proceso de elaboración de la cerveza destapando la botella y probando el sabor y aroma de la tan ansiada cerveza elaborada artesanalmente.

## Capítulo II

### Automatización de los Procesos

Con la finalidad de aumentar la producción y hacer más autónomo el proceso de elaboración de cerveza artesanal, se ideó este proyecto, es por esto que en este capítulo se expondrán los diferentes implementos que se utilizarán en los procesos fundamentales, y se explicará detalladamente el rol que cumplen dentro de los diferentes procesos, como se lleva a cabo cada tarea que desempeñan los componentes en la planta, así como sus especificaciones técnicas, y de qué forma los distintos aparatos llevarán a cabo automáticamente los procesos elementales para la producción de una sabrosa cerveza artesanal.

#### Equipamiento del Sistema

El equipamiento es fundamental para el proceso, se debe tener en cuenta que no se puede ocupar cualquier equipamiento debido a que se está tratando con un producto alimenticio el cual debe estar alejado de cualquier tipo de contaminación. Es por eso que se deben ocupar materiales como acero inoxidable para los fondos y el falso fondo y plástico para las válvulas como también para la bomba de recirculado.

El equipamiento del sistema es el siguiente:

Fondo Acero Inoxidable con capacidad para 29 Litros y llave de salida 1/2".



Figura 1.0: Fondos de Acero Inoxidable

Fondo de acero inoxidable 29 litros. Incluye tapa y válvula inoxidable de 1/2". Fondo de acero inoxidable ideal para producciones caseras de hasta 23 litros. Producto de gran calidad. Incluye tapa y válvula de 1/2" soldada con pulido sanitario.

- Espesor (mm) 1
- Diámetro (cm) 34.7
- Altura (cm) 34.5

El fondo cumple la función de infundir la malta molida para convertirla en Mosto en la etapa de maceración a una temperatura de 68°C.

Es muy importante que el material del cual está hecho el fondo sea acero inoxidable, ya que la cerveza entra en la categoría de alimento, y al pertenecer a esta categoría de productos se hace fundamental evitar cualquier tipo de oxidación en el fondo que pueda contaminar o alterar el sabor final de la cerveza.

Serán necesarios dos fondos del mismo tipo, ya que en el primero se llevara a cabo el proceso de maceración, y en el segundo se ejecutara el proceso de cocción.

Falso Fondo para fondo de 29 Litros.



Figura 1.1: Falso Fondo de Acero Inoxidable

Falso fondo para olla de 29 Litros. Material Acero inoxidable con soportes de acero inoxidable.

- Espesor: (mm) 1
- Diámetro: (cm) 32.8

Está compuesto por una lámina circular perforada de acero inoxidable, 5 tornillos, 4 que sostienen la lámina perforada y 1 situado en el centro para remover la herramienta del fondo, y 10 tuercas que afirman los tornillos.

El falso fondo será utilizado en la etapa de maceración y su principal función es evitar que los granos de malta se sitúen y aconchen en el fondo del tanque. Su tarea es primordial ya que si no se contara con esta herramienta, los granos molidos de malta tapan la válvula de salida del fondo y no se podría continuar con los siguientes procesos. También cumple la función de colar el mosto para que este resulte sin grumos de malta ni impurezas que puedan tapar las mangueras y válvulas por donde circulara el mosto.

Esta herramienta es fundamental en el proceso de lavado de grano, puesto que el falso fondo contiene toda la masa de granos molidos encima para que el agua del lavado limpie y extraiga la mayor cantidad posible de azúcares que guardan los granos.

Bidón de Agua 20 Litros para Lavado de Grano.



Figura 1.2: Bidón de Agua de Lavado de Grano

- Dimensiones: 50cm x 26cm.
- Volumen: 20 Litros.
- Peso: 730 Gramos.
- Material: PET.

Su principal tarea es almacenar Agua a temperatura ambiente para luego ser extraída mediante gravedad a través de la de lavado de grano por medio de mangueras plásticas y luego incorporar el agua con dirección al estanque de maceración por sobre la capa de granos para poder llevar a cabo el lavado.

### Bomba Eléctrica 220V.



Figura 1.3: Bomba de Recirculado

- Material: Plástico.
- Color: Gris.
- Dimensiones: 10cm x 10cm x 10cm.
- Voltaje Operacional: 220 V.
- Flujo: 10 Litros/Min.
- Corriente Operacional: 0.25 A.
- Frecuencia de conmutación: 50 Hz.
- Diámetro de entrada y salida: ½”.

Bomba Casera compuesta por un motor de 12V, adaptada para 220V mediante un transformador reductor, acoplada a 2 válvulas manuales metálicas y un soporte para fijación.

La principal función de esta bomba es realizar el proceso de recirculado del mosto a través de mangueras plásticas.

La bomba se conecta al terminal de salida del fondo de maceración para que así se extraiga el mosto aconchado en el fondo del estanque y vulva a ser incorporado en la superficie de la capa de granos con el fin de homogeneizar el mosto.

Válvula Solenoide 24V.



Figura 1.4: Válvulas Solenoide

Esta válvula eléctrica permite abrir el paso a un fluido mediante una alimentación de 24V entre sus terminales. El sistema requiere dos unidades de esta válvula, una para abrir el paso del agua de lavado de grano hacia el fondo de maceración, y la segunda es requerida para el trasvasijado del mosto desde el fondo de maceración hacia el fondo de cocción.

- Material: Metal + Plástico.
- Voltaje Operacional: 24V DC.
- Entrada y Salida: 1/2 " (diámetro exterior) de la manguera.
- Temperatura máxima del líquido: 100° C.
- Modo de funcionamiento: Normalmente Cerrado.
- Tipo de válvula: Diafragma.
- Dimensiones: 8cm x 6cm x 4.5cm.

- Diámetro interior: 13.5mm.
- Consumo: 4.8W.
- Rango de presión: 0.02 a 0.8MPa.
- Terminales estándar de 1/2".
- Fluidos: agua, aire y fluidos de baja viscosidad.
- Flujo Mínimo (0.02Mpa) = 1.5L/min.
- Flujo Máximo (0.80Mpa) = 20L / min.

Válvulas de diafragma:

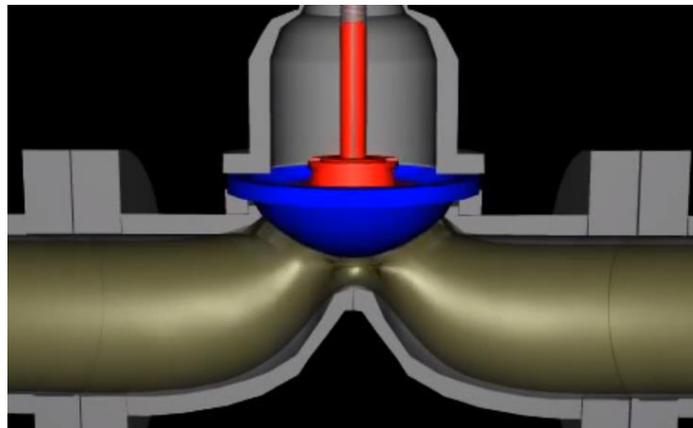


Figura 1.5: Válvulas Diafragma

Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación.

La Principal tarea de esta válvula es abrir el paso de la mezcla de mosto y agua (ya finalizada la etapa de maceración) en la etapa de Lavado de grano para que este sea trasvasiado hacia el fondo de cocción a través de mangueras plásticas conectadas en los terminales de la válvula.

Siendo la temperatura del mosto inferior a  $68^{\circ}\text{C}$ , esta válvula eléctrica cumple con el rango de temperatura de operación, así es posible evitar cualquier falla o deterioración temprana del Actuador.

Para el sistema será necesario contar con 2 válvulas solenoide del mismo tipo, la primera mencionada anteriormente para el proceso de trasvasiado del mosto hacia el fondo de cocción, y la segunda requerida para el proceso de lavado de grano. En este último proceso, la principal tarea de la válvula será abrir el paso del agua a temperatura ambiente ( $24^{\circ}\text{C}$ ) del estanque de lavado de grano para incorporarla por sobre de la capa de granos en el estanque de maceración.

Calefactores 3000W.



Figura 1.6: Calefactores 3000W

- Potencia: 3000W.
- Material: Acero Inoxidable.

Calefactores que serán utilizados en las etapas de maceración y cocción del mosto, ubicados bajo los fondos y en contacto directo con ellos. Están compuestos por una resistencia calefactora que se excita con el flujo de electrones elevando su temperatura y por ende la temperatura del mosto.

Estos calefactores estarán conectados cada uno a un contactor necesario para completar el circuito de potencia del sistema. Esto se debe a que el consumo de estas resistencias es bastante elevado por lo que no es posible conectarlos directamente a los relés de control.

### Serpentín de Cobre.



Figura 1.7: Serpentín de Cobre

- Longitud: 7.5 Metros.
- Diámetro: 3/8".
- Material: Cobre.

Serpentín de enfriamiento con terminales de bronce y conectores rápidos para mangueras de 1/2".

El principio de funcionamiento del serpentín es realizar un intercambio de temperatura por medio de convección entre el mosto caliente y el agua fría a través del tubo de cobre. Así es posible extraer el calor de la mezcla para llevarla a una temperatura adecuada para que las levaduras de la fermentación logren el mejor desempeño posible.

La función principal que desempeña el serpentín es enfriar el mosto al finalizar la etapa de cocción, desde el hervor (98° C) hasta la temperatura ambiente (24° C).

El cobre es un material altamente conductor, por lo que al ser fabricado de este material hace mucho más eficiente el intercambio de calor entre el mostro y el agua fría de la red de agua potable.

El serpentín es instalado dentro del fondo de cocción por lo que la cocción será llevada a cabo con el serpentín dentro, evitando así, intervenir el estanque durante los procesos para no exponer el mosto a contaminación o polvo, y facilitando la continuidad de los procesos.

Es importante mencionar que la apertura de la válvula de agua de la red de agua potable debe ser realizada de forma manual y debe ser cerrada cuando la temperatura del mosto se encuentre a 20°C (la temperatura es monitoreada por el usuario mediante una pantalla LCD que más adelante será descrita).

#### Hardware de control

Este es un punto fundamental en el proyecto, ya que se deben tener en cuenta diferentes criterios para definir cada uno de los controladores, sensores y actuadores de forma correcta para que no se produzcan problemas de comunicación entre ellos.

El criterio de elección de la instrumentación fue priorizar el costo, la facilidad de programación, de conexión y de lectura de datos.

Es por eso que el proyecto se desarrollara con la instrumentación de Arduino.

Los componentes del proyecto son los siguientes:

## Controlador Arduino Mega.



Figura 1.8: Controlador Arduino Mega

Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo open-source construida con un microcontrolador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc. Las posibilidades de realizar desarrollos basados en Arduino tienen como límite la imaginación.

El Arduino Mega tiene 54 pines de entradas/salidas digitales (14 de las cuales pueden ser utilizadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serial por

hardware), cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, jack de alimentación, conector ICSP y botón de reset. Arduino Mega incorpora todo lo necesario para que el microcontrolador trabaje; simplemente conéctalo a tu PC por medio de un cable USB o con una fuente de alimentación externa (9 hasta 12VDC).

Esta nueva versión de Arduino Mega 2560 adicionalmente a todas las características de su sucesor utiliza un microcontrolador ATmega8U2 en vez del circuito integrado FTDI. Esto permite mayores velocidades de transmisión por su puerto USB y no requiere drivers para Linux o MAC (archivo inf es necesario para Windows) además ahora cuenta con la capacidad de ser reconocido por el PC como un teclado, mouse, joystick, etc.

Características:

- Microcontrolador ATmega2560.
- Voltaje de entrada de – 7-12V.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas PWM).
- 16 entradas análogas.
- 256k de memoria flash.
- Velocidad del reloj de 16Mhz.

## Pantalla LCD Keypad Shield para Arduino.



Figura 1.9: Pantalla LCD KeypadShield

La Shield LCD Keypad Shield de entrada y salida es una placa shield para Arduino que usa una pantalla LCD de 2 líneas y 16 caracteres, con ajuste de contraste y retroiluminación. Incluye 5 botones integrados en un solo pin análogo y un botón de reinicio.

### Características:

- Requiere una placa Arduino (no incluida).
- Voltaje operativo 5V (proporcionado por la placa Arduino).
- Botón de reinicio en la Shield para mayor accesibilidad.
- 5 Botones programables mediante pin Análogo.
- Control de contraste en la Shield.

## Módulo de 8 Relevadores para Arduino.



Figura 2.0: Módulo 8 Relés 5V

Módulo Relé de 8 Canales optoacoplado. Este módulo de relevadores (relés) para conmutación de cargas de potencia. Los contactos de los relevadores están diseñados para conmutar cargas de hasta 10A y 250VAC (o 30VDC), aunque se recomienda usar niveles de tensión por debajo de estos límites. Las entradas de control se encuentran aisladas con optoacopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control TTL o CMOS como puede ser un microcontrolador. Este módulo es ideal para conmutar cargas de corriente alterna conectadas a la red eléctrica. Soporta todos los microcontroladores, aplicaciones en zonas industriales, control del PLC, entre otros.

#### Características:

- 8 canales de interfaz de relé.
- Cada uno necesita 15-20mA del controlador.
- Equipado con relé de alta corriente: 10A DC30V AC250V 10A.
- Los 8 canales están aislados ópticamente, seguro, anti-interferencias fiable.
- Con el indicador de energía de carreteras, 8 vías tiene un indicador de estado.
- Con una bobina de relé para absorber el diodo de protección.
- El tamaño de la placa de circuito 140mm X 55mm.
- Medida orificios 133mm X 40mm.

#### Especificaciones:

- Voltaje entrada: 5 V.
- Voltaje de control: 3.3 ~ 9 V.
- Voltaje de salida: 250 VCA o 30 VDC.
- Corriente a la salida: 10 A.
- Dimensiones: 139 x 55 x 17 mm.

Contactor 2 Polos.



Figura 2.1: Contactor Monofásico 25<sup>a</sup>

- Fabricante: Schneider Electric.
- Numero de polos: 2
- Tensión en el circuito de control: 230/240 V CA 50 Hz
- Corriente Máxima: 25 A
- Configuración normal de estado: Normalmente Abierto
- Potencia nominal: 3 kW 250 V AC
- Dimensiones: 60x18x81 mm.
- Temperatura mínima de funcionamiento: -5 °C
- Temperatura máxima de funcionamiento: +60 °C

Un contactor es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.

Estos dispositivos son fundamentales para realizar el circuito de potencia del sistema, por la razón que son equipos diseñados para soportar un alto flujo de corriente debido a la potencia necesaria para las tareas que llevan a cabo los calefactores. En el circuito de potencia será necesario contar con dos unidades de este contactor, uno para el calefactor de maceración y el segundo para el calefactor de cocción.

Sensor de Temperatura tipo Termocupla DS18B20.



Figura 2.2: Sensor de Temperatura DS28B20

Sensor de temperatura DS18B20 impermeabilizado. Muy útil para medir en sitios lejanos, o en condiciones húmedas. Mientras que el sensor es apto hasta los 125 °C, el cable tiene una cubierta de PVC por lo que se sugiere mantenerlo debajo de 100°C. Como es digital, no hay ninguna degradación de la señal incluso a largas distancias. El DS18B20 proporciona lecturas de la temperatura de 9 a 12 bits (configurable) sobre una interfaz "1-Wire", con sólo un cable de señal (y tierra) estando conectado a un microprocesador central. Utilizable con voltajes de 3.0-5.5V.

Como cada DS18B20 contiene un número de serie único, pueden existir varios DS18B20s en el mismo bus 1-Wire. Esto permite colocar sensores de temperatura en diferentes lugares. Entre las aplicaciones donde esta característica es útil, se incluyen controles

ambientales de HVAC, sensor de temperatura interior de edificios, equipo o maquinaria, monitoreo de procesos y control.

Características:

- Rango de tensiones de alimentación: 3.0V a 5.5V
- $\pm 0.5$  °C exactitud entre -10 °C a + 85 °C y  $\pm 2$  °C entre -55 °C a 155 °C
- Rango de temperatura: -55 a 125 °C (-67 °F a +257 °F)
- Resolución: seleccionable de 9 a 12 bits
- Interfaz 1-Wire. Requiere sólo un pin digital para la comunicación
- Identificador único de 64 bits grabado en el chip. Múltiples sensores pueden compartir el mismo bus
- Sistema de alarma de límite de temperatura
- Tiempo de consulta menor a 750ms
- Conexionado con 3 hilos: Cable rojo VCC, Cable negro GND, Cable amarillo Datos
- Diámetro: 6 mm, tubo de acero inoxidable de 35 mm de largo
- Diámetro del cable: 4 mm
- Longitud total con cable: 90 cm

Esquema de Montaje

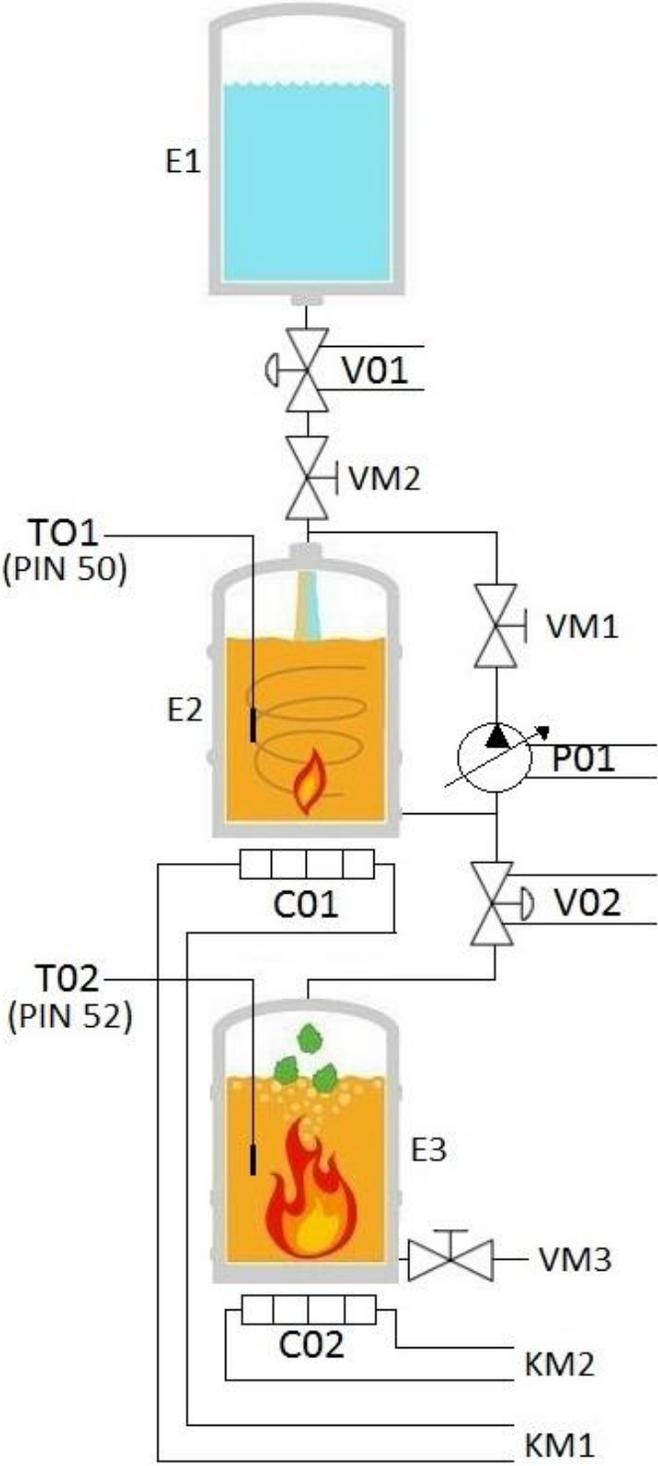


Figura 2.3: Esquema de Montaje

## Descripción del montaje

En la imagen se aprecia el montaje de los dispositivos y equipamiento con sus respectivos nombres y conexión entre ellos. A continuación se procederán a identificar los distintos componentes:

- E1: Estanque contenedor de agua de lavado de grano.
- E2: Fondo de maceración.
- E3: Fondo de Cocción.
- T01: Sensor de Temperatura de maceración.
- T02: Sensor de Temperatura de Cocción.
- V01: Válvula Solenoide de lavado de grano.
- V02: Válvula Solenoide de Trasvasijado del mosto.
- P01: Bomba de Recirculado del mosto.
- C01: Calefactor de fondo de maceración.
- C02: Calefactor de fondo de Cocción.
- VM1: Válvula Manual reguladora de Recirculado.
- VM2: Válvula Manual reguladora de Agua de lavado de grano.
- VM3: Válvula Manual Para salida del mosto.

## Diagrama de Conexión de Relés

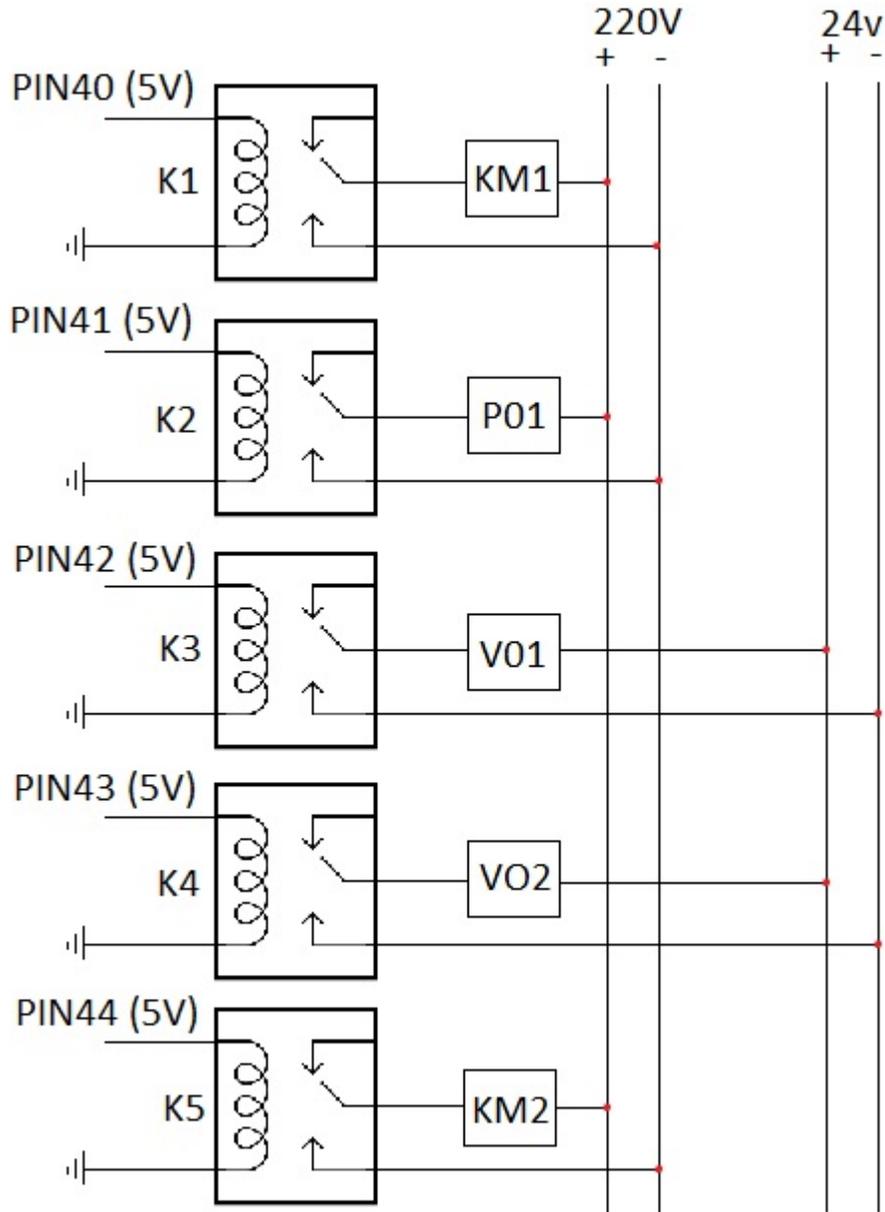


Figura 2.4: Esquema de Conexión de Relés

### Descripción de la Conexión

En la imagen se muestra la conexión entre las salidas de los pines del controlador Arduino y la entrada de alimentación de las bobinas de los relés (5V) que activan las cargas.

Las cargas están conectadas al terminal común del relé a 220V para los contactores y la bomba de recirculado, y a 24V para las válvulas solenoides. Mientras que los terminales normalmente abiertos están conectados hacia la tierra de las barras de sus respectivas alimentaciones.

Los contactores KM1 y KM2 del circuito de potencia están conectados para energizarse mediante los relés de las bobinas K1 y K5 y están conectados de la siguiente manera:

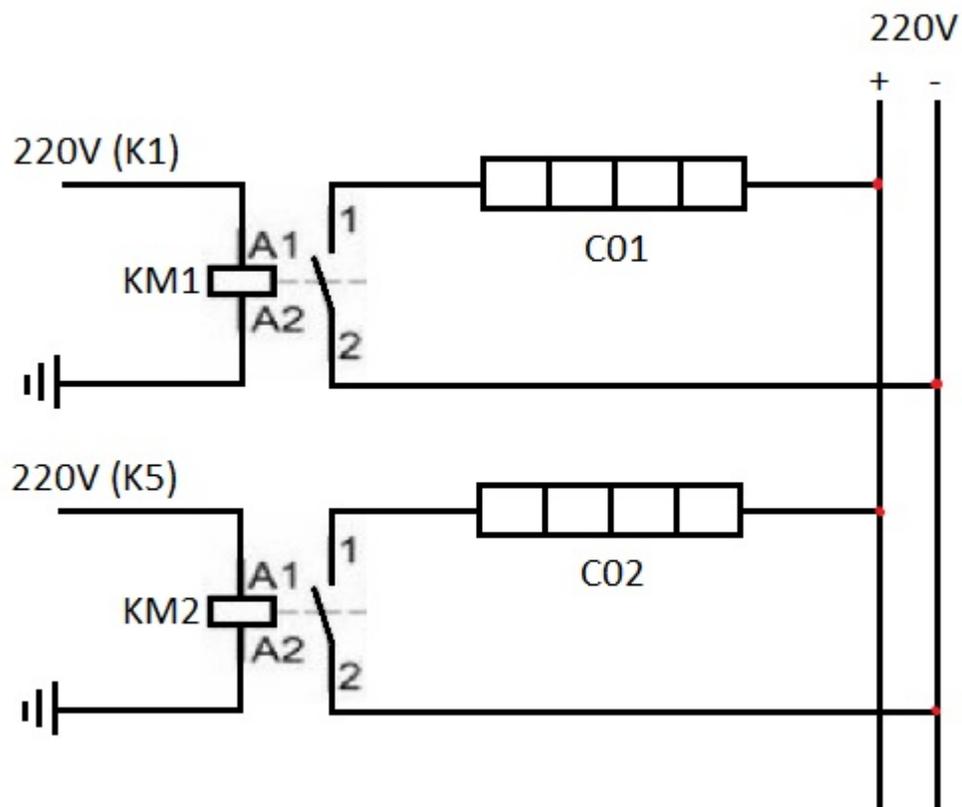


Figura 2.5: Esquema de Conexión de Contactores

En el esquema se puede apreciar que las bobinas de los relés K1 y K5 finalmente energizan las bobinas de los respectivos contactores KM1 y KM2 para cerrar el circuito de los calefactores y que estos se energicen.

El esquema de conexiones de los sensores hacia las entradas del controlador Arduino es el siguiente:

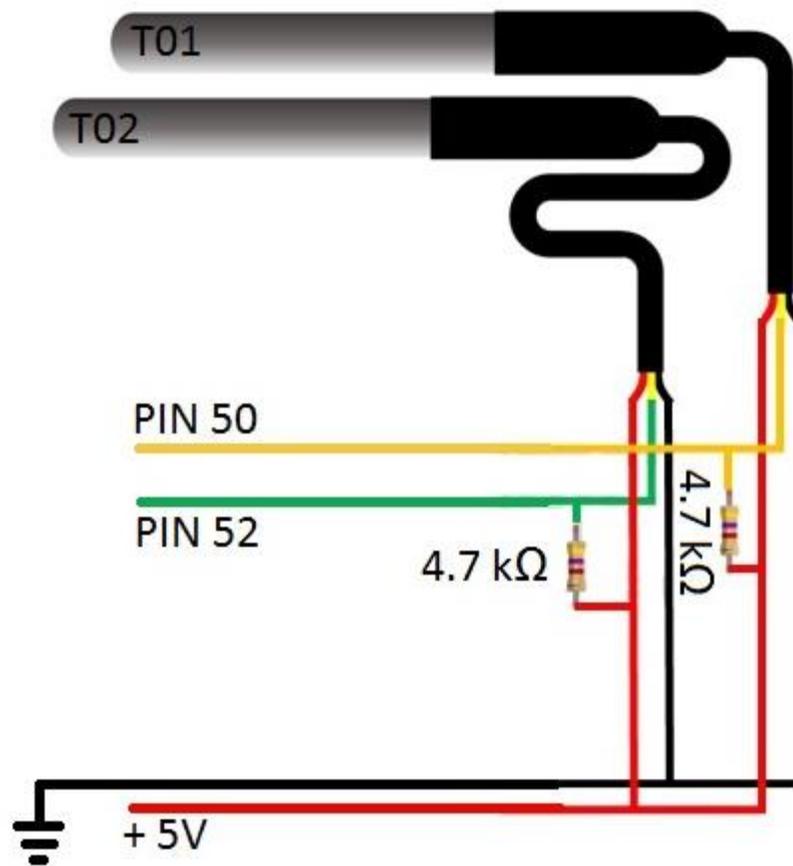


Figura 2.6: Esquema de Conexión de Sensores DS18B20

Para conectar los sensores de temperatura DS18B20, es necesario realizar un divisor de tensión con una resistencia de 4.7 kΩ conectada entre el cable de datos del sensor y la alimentación de 5V.

## Capítulo III

### Programación del Controlador del Sistema

El desarrollo del software de control del sistema se creó con la finalidad de lograr un control básico y secuencial de los dispositivos actuadores y el muestreo de las variables de temperatura en los procesos fundamentales.

Para controlar y llevar a cabo los procesos se hace fundamental el muestreo de las variables de temperaturas de cocción.

Por esta razón se realiza un algoritmo redactado en el lenguaje de programación de Arduino bajo la plataforma de programación “Arduino IDE”.

A continuación se mostrara el programa de control y se explicara el funcionamiento del código.

```

//SE IMPORTAN LA LIBRERIAS CORRESPONDIENTES
#include <OneWire.h> //LIBRERIA DEL SENSOR DS18B20
#include <DallasTemperature.h> //LIBRERIA PARA LEER TEMPERATURAS
#include <LiquidCrystal.h> //LIBRERIA DEL LCD KEYPADSHIELD

LiquidCrystal lcd (8, 9, 4, 5, 6, 7); //SE DEFINEN LOS PINES QUE UTILIZARA EL LA PANTALLA LCD
const byte pinDatotemp1 = 50; //SE ALMACENA COMO BYTE EL VALOR DE LAS TEMPERATURAS
const byte pinDatotemp2 = 52; //PARA CADA SENSOR
OneWire oneWireObjeto1 (pinDatotemp1); //SE DEFINEN COMO OBJETOS LOS SENSORES
OneWire oneWireObjeto2 (pinDatotemp2); //Y SE LE ASIGNAN NOMBRES
DallasTemperature sensor1DS18B20 (&oneWireObjeto1); //LA LIBRERIA DE TEMPERATURAS ASOCIA COMO OBJETOS
DallasTemperature sensor2DS18B20 (&oneWireObjeto2); //DE MEDICION DE TEMPERATURAS A LOS SENSORES

void setup() {

lcd.begin(16, 2); //SE INICIALIZA LA PANTALLA DEFINIENDO EL TAMAÑO
Serial.begin(9600); //SE INICIALIZA EL PUERTO SERIAL A 9600 BPS
sensor1DS18B20.begin(); //SE INICIALIZAN LOS SENSORES
sensor2DS18B20.begin();
pinMode(40,OUTPUT); //SE DEFINEN LOS SIGUIENTES PINES COMO SALIDAS
pinMode(41,OUTPUT); //DEL CONTROLADOR
pinMode(42,OUTPUT);
pinMode(43,OUTPUT);
pinMode(44,OUTPUT);

}

```

Figura 2.7: Programación Librerías, Void Setup

```

void loop() {

while (pinDatotemp1 >= 0) //SE DECLARA COMO CONDICION DEL BUCLE WHILE
{ //QUE MIENTRAS EL SENSOR LEA UNA TEMPERATURA IGUAL
//O MAYOR A 0 ...

Serial.println("Mandando comandos a los sensores"); //SE DESPLIEGAN LAS VARIABLES DE TEMPERATURA EN
sensor1DS18B20.requestTemperatures(); //EL MONITOR SERIE
Serial.println("Mandando comandos a los sensores");
sensor2DS18B20.requestTemperatures();

Serial.print("Temperatura sensor 1: ");
Serial.println(sensor1DS18B20.getTempCByIndex(0));
Serial.print("Temperatura sensor 2: ");
Serial.println(sensor2DS18B20.getTempCByIndex(0));

lcd.setCursor(0,0); //SE MUESTRA LA TEMPERATURA QUE LEE EL SENSOR 1
lcd.print("Temperatura"); //EN LA PANTALLA LCD
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(sensor1DS18B20.getTempCByIndex(0));
}
}

```

Figura 2.8: Programación Void Loop

La imagen anterior muestra el "void loop(){}", ciclo que el programa ejecutara continuamente

Este programa simplemente muestra las temperaturas obtenidas en los sensores mientras estas sean mayor o iguales a 0 (ósea siempre).

```
digitalWrite(40,HIGH);           //SE REALIZA LA SECUENCIA SIMULADA DE ACTUADORES
digitalWrite(41,LOW);           //SE ACTIVA SOLO EL CONTACTOR DEL CALEFACTOR DE MACERACION
digitalWrite(42,LOW);
digitalWrite(43,LOW);
digitalWrite(44,LOW);
delay(6000);

digitalWrite(40,LOW);           //SE ACTIVA SOLAMENTE LA BOMBA DE RECIRCULADO
digitalWrite(41,HIGH);
digitalWrite(42,LOW);
digitalWrite(43,LOW);
digitalWrite(44,LOW);
delay(6000);

digitalWrite(40,LOW);           //SE ACTIVAN LA VALVULA DE LAVADO DE GRANO
digitalWrite(41,LOW);           //Y LA VALVULA DE TRASVASIJADO AL FONDO DE COCCION
digitalWrite(42,HIGH);
digitalWrite(43,HIGH);
digitalWrite(44,LOW);
delay(6000);

digitalWrite(40,LOW);           //SE ACTIVA SOLO EL CONTACTOR DEL CALEFACTOR DE COCCION
digitalWrite(41,LOW);
digitalWrite(42,LOW);
digitalWrite(43,LOW);
digitalWrite(44,HIGH);
delay(12000);
}
```

Figura 2.9: Programación Secuencia de Actuadores

La imagen anterior muestra como el programa simula los tiempos reales de los procesos en una escala de 1:10 (segundos:minutos).

Se debe tener en cuenta que el controlador asume el valor del tiempo en milisegundos, por lo tanto, la instrucción "delay(6000);" ejecuta un tiempo de espera de 6 segundos, lo que representa 60 minutos en escala real.

## Capítulo IV

### Análisis de Costos

#### Costo de Inversión

Los costos de la inversión inicial del proyecto están dados en la siguiente tabla. Hay que tener en cuenta que el proyecto está diseñado para producir 20 litros de cerveza, si se quisiera aumentar el volumen de producción los precios aumentarían debido a la capacidad y la energía requerida en el caso de aumentar la producción.

La compra del equipamiento y bomba de recirculado fue realizado en “Insumos Cerveceros Prost”. Mientras que los componentes de control (Placa Arduino Mega, módulo de Relés y pantalla LCD), sensores DS18B20, válvulas solenoide, fueron adquiridos en la tienda “Evolta”. El sensor de temperatura fue adquirido en la tienda “AMG Kits”. La adquisición de los calefactores fue gratuita gracias al reciclaje de un sistema de calefacción industrial de una maquina blíster.

Descripción de Equipamiento	Cantidad	Precio c/u
Fondo Acero Inox. 29 Lt.	2	\$ 81.000
Falso Fondo Acero Inox. para fondo de 29 Lt.	1	\$ 25.000
Bomba recirculación (30 watts)	1	\$ 40.000
Serpentín de cobre 7,5 mt., diámetro 1/2"	1	\$ 35.000
Arduino Mega	1	\$ 13.990
Módulo Arduino 8 Rele 5V	1	\$ 2.890
Arduino LCD Keypad Shield	1	\$ 5.980
Sensor de Temperatura DS18B20	2	\$ 2.490
Bidón de Agua 20 Litros para Lavado de Grano	1	\$ 4.650
Valvulas Solenoide 24V	2	\$ 8.990
Calefactores electricos 3000W	2	\$ 0
Contactador 2 Polos 25A Schneider Electric	2	\$ 38.000
Articulos de gasfiteria y otros	1	\$ 30.000
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 418.470</b>

Tabla 1.2: Costos

El siguiente grafico muestra la comparación entre los precios de cada equipo para el desarrollo del proyecto.

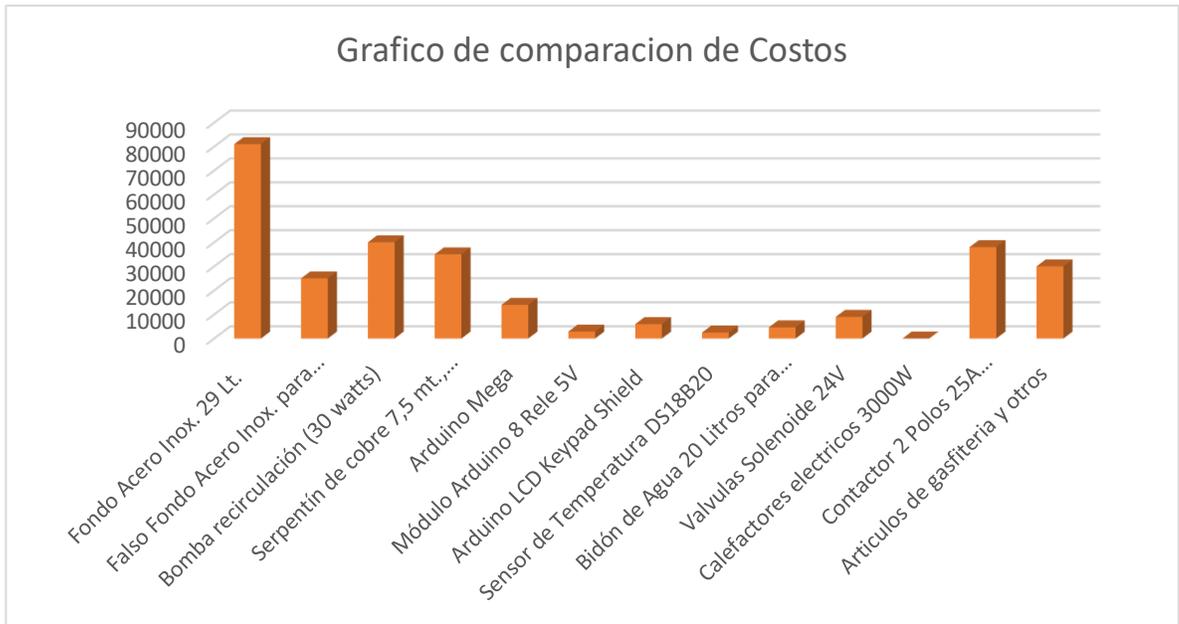


Tabla 1.3: Comparación de Costos

Como se puede apreciar el equipamiento más costoso son los fondos de acero inoxidable, los cuales realizan los procesos fundamentales del sistema.

Hay que tener en consideración que los precios pueden variar en el tiempo. La estimación de la inversión se realizó a la fecha del 25 de Octubre del año 2017.

### Beneficio Económico de Proyecto

N° de Producción	Ingresos	Gastos	Ganancia
1	\$ 0	-\$ 383.578	-\$ 383.578
2	\$ 60.000	-\$ 15.000	-\$ 338.578
3	\$ 60.000	-\$ 15.000	-\$ 293.578
4	\$ 60.000	-\$ 15.000	-\$ 248.578
5	\$ 60.000	-\$ 15.000	-\$ 203.578
6	\$ 60.000	-\$ 15.000	-\$ 158.578
8	\$ 60.000	-\$ 15.000	-\$ 113.578
9	\$ 60.000	-\$ 15.000	-\$ 68.578
10	\$ 60.000	-\$ 15.000	-\$ 23.578
11	\$ 60.000	-\$ 15.000	\$ 21.422

Tabla 1.4: Beneficio Económico

El beneficio económico será calculado mediante un flujo de caja, tomando en cuenta lo siguiente:

- La cantidad de producción son 20L por producción.

- A cada producción se le resta el gasto de la misma teniendo en cuenta un gasto de \$15.000/producción, equivalente a 40 botellas de vidrio las cuales tienen un precio de \$240 c/u. el cual equivale a \$9.600/mes, sumado a una estimación de gasto energético de \$5.400/producción.
- Siendo el precio de venta de \$1.500/unidad (botella 500 cc.) los ingresos por producción son:  $\$1.500 \times 40 = \$60.000$
- De esta forma se calculó que a la producción N° 11 recién se logran ver ganancias y números positivos.

## Capítulo V

### Resultados, Conclusiones y Recomendaciones

#### Ventajas del Proyecto

La principal ventaja de este proyecto es que hay muy pocos sistemas de elaboración de cerveza artesanal. Por lo que este se destacaría por su bajo costo y su alta autonomía para realizar los procesos fundamentales, es decir requiere de poca intervención del operador.

Otra ventaja considerable es la alta demanda de cerveza a nivel nacional. Según el diario El Mercurio, en Chile se consumen 43.7 litros de cerveza per cápita y este volumen aumentaría para el año 2020, siendo 45 litros el volumen que consume solo una persona en promedio en nuestro país, por lo que el proyecto se vuelve cada vez más rentable con el tiempo.

También hay que tomar en cuenta que la cantidad de productores de cervezas artesanales y caseras va en aumento, y ese es el segmento de clientes al cual este proyecto pretende apuntar.

Otra ventaja considerable para el desarrollo del proyecto es el bajo costo de los componentes y del equipamiento. Al ser desarrollado con Arduino el costo baja considerablemente si se compara con la opción de emplear el mismo sistema con un PLC.

## Desventajas del proyecto

Una desventaja importante es el alto consumo eléctrico del sistema, esto se da por el alto requerimiento de temperatura que requieren los procesos determinantes (Maceración y Cocción).

También una limitación importante es el tiempo de espera que debe transcurrir para que la mezcla alcance los niveles de temperatura requeridos para cada proceso, teniendo en cuenta que el calor va a ser generado de forma eléctrica, esto nos limita claramente ya que la energía será traspasada en forma de inducción y no por conducción como es el común de los casos en el proceso de elaboración de la cerveza. Por lo que el incremento de la temperatura va a ser considerablemente más lento que utilizando calor por inducción.

## Conclusiones

El sistema facilita la producción en grandes cantidades a los pequeños productores de cerveza artesanal, esto les da pie para insertarse en el mercado y consagrarse a un nivel similar al de la competencia de producciones industriales.

El serpentín de cobre al estar ubicado dentro del fondo durante la etapa de cocción del mosto, facilita la tarea de mantener el calor, al ser un sistema completamente eléctrico, esto disminuye el consumo de energía y aumenta la eficiencia del sistema en términos de gasto energético.

El sistema es tan versátil que es posible adaptarlo con diferentes dispositivos, ya sea de control o actuadores, así como el equipamiento cervecero. A la vez es posible expandir y variar los tiempos de cocción en el programa como también los parámetros de las recetas.

## Resultados del sistema

La curva de temperatura del sistema es la siguiente:

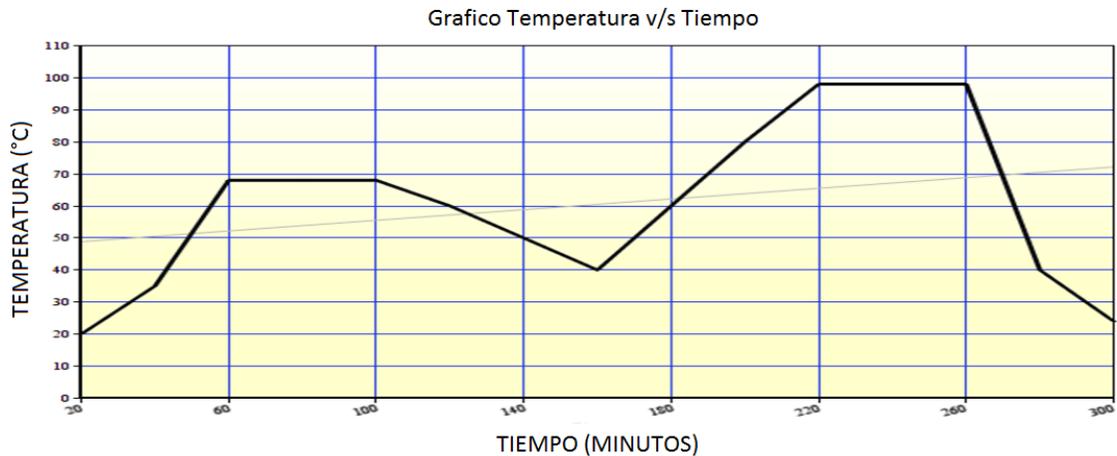


Figura 3.0: Grafico de Perfil de Temperatura

El calefactor del fondo de maceración demora 1 hora aproximadamente en llegar a una temperatura de infusión de 68 °C, luego de que alcanza esta temperatura, el sistema la mantiene durante 1 hora más que es el tiempo necesario para infundir los granos de cebada en el agua, cuando finaliza el proceso de maceración la temperatura disminuye debido al proceso de lavado de grano, en este último, el agua de lavado, esta a una temperatura ambiente de aproximadamente 24 °C es por esa razón que la temperatura del fluido disminuye. Cuando se cumplen 2 horas y 40 minutos del proceso completo, finaliza la etapa de lavado de grano y se activa el calefactor del fondo de cocción, por lo que la temperatura del fluido comienza a elevarse nuevamente hasta llegar a los 98 °C, cuando el mosto alcanza esta temperatura, esta se mantiene durante un hora aproximadamente que es el tiempo de cocción del mosto. Luego de finalizada la cocción ya transcurridas 4 horas y 20 minutos aproximadamente, se procede a abrir la llave de agua potable para que el serpentín comience a enfriar el mosto desde los 98 °C, hasta la temperatura ambiente

(24 °C). Este enfriamiento se lleva a cabo en un corto plazo debido a la rápida extracción del calor mediante el serpentín de cobre.

### Recomendaciones

Se requiere el menor contacto de oxígeno posible para que no ocurran oxidaciones que afecten el sabor de la cerveza. Circulando la mezcla o mosto por tuberías casi no tiene contacto con el oxígeno.

Se recomienda sanitizar los fondos, las mangueras, la bomba y las válvulas con ácido peracético con una mezcla homogénea de 1 ml/litro H<sub>2</sub>O cada vez que se realice una producción con el sistema.

Limpiar la camp de espuma que se forma cuando se llega al hervor antes de agregar los lúpulos en la etapa de cocción.

No se debe tapar la olla completamente durante la etapa de cocción

Se debe mantener el equipamiento y sistema completo en un ambiente cerrado donde no exista contaminación de polvo y a una temperatura de 24 °C aproximadamente en un ambiente seco.

## Bibliografía

- María Alexandra Vera Rey. (2017) Desarrollo y Formulación de Cervezas Artesanales.  
Disponible en:  
[http://www.usmp.edu.pe/vision2016/pdf/materiales/DESARROLLO\\_Y\\_FORMULACION\\_DE\\_CERVEZAS\\_ARTESANALES.pdf](http://www.usmp.edu.pe/vision2016/pdf/materiales/DESARROLLO_Y_FORMULACION_DE_CERVEZAS_ARTESANALES.pdf)  
[Accesado 25-octubre-2017]
- José Manuel Ruiz Gutiérrez. (2007) Manual de Programación Arduino.  
Disponible en:  
<https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>  
[Accesado 25-octubre-2017]