

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Título del trabajo

**Diseño de un sistema automático para el control y  
monitoreo del proceso de conchado en la elaboración de  
chocolate**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en electricidad especializado en electrónica y  
automatización industrial**

Presentado por:

Miguel Mauricio Sandoya Man Ging

Sergio Andres Vargas Rumazo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedicamos a Dios por habernos permitido culminar este proyecto, lograr nuestro objetivo de graduarnos y bendecirnos durante el transcurso de toda la carrera.

A nuestras familias por todo su amor y apoyo durante todos estos años de estudio.

Al PhD. Wilton Agila y al MSc. Ronald Ponguillo por su colaboración y consejos para poder tener éxito en el proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por bendecirme en cada momento de mi vida, sin Él nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres Karina Man Ging, Miguel Sandoya, mis hermanos Félix, Javier y Paula por siempre creer en mi y darme su apoyo incondicional.

A mi tío Ricardo (+), mis primos Iván y José Francisco por todas sus enseñanzas y ser mis primeros mentores en mi camino como politécnico.

A mis amigos que me ayudaron y apoyaron para poder lograr este objetivo.

*Miguel Mauricio Sandoya Man Ging*

Le agradezco a Dios por haberme brindado salud y perseverancia para poder lograr todos mis objetivos propuestos.

A mis padres Sergio Vargas y Ana Rumazo, mi hermana Nadia que por su apoyo y amor incondicional he logrado cumplir una de mis metas

A mis Abuelos Sergio(+), Leonza(+), Ana y Rafael que siempre estuvieron pendiente de mi bienestar de igual manera a mis tíos Lorgia, María, Cesar, Janeth, Elena, Mariana y Heriberto que siempre me dieron consejos y apoyos durante estos años.

*Sergio Andrés Vargas Rumazo*

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Miguel Mauricio Sandoya Man Ging* y *Sergio Andrés Vargas Rumazo* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Miguel Sandoya M.

---

Sergio Vargas R.

## EVALUADORES

---

**MSc. Ronald Ponguillo**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**PhD. Wilton Agila**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El proceso del conchado en la elaboración del chocolate es una etapa esencial para el desarrollo de este ya que se eliminan los sabores ácidos y se refina la pasta de cacao, consiste en un agitador mecánico con el objeto de distribuir homogéneamente manteca de cacao y sus demás ingredientes para así tener un chocolate de calidad. La chocolatera Manobanda en busca de expandir e industrializar su producción necesitaba realizar este proceso de manera automática, así mejorar sus tiempos de producción y reducir las pérdidas del producto obteniendo una cantidad determinada de muestras para poder llegar a los valores aproximados de viscosidad, pH y humedad. A partir de esta necesidad se diseñará un sistema de automatización basado en la programación de un PLC en lenguaje de funciones y con comunicación Profinet con un HMI para una visualización en tiempo real de las distintas etapas del proceso, en donde se incluye los diagramas de fuerza y control junto con el diseño del tablero de montaje.

En el capítulo 1, se plantea la problemática a resolver y se describen los objetivos del proyecto, junto con el alcance de este.

En el capítulo 2, se detalla la metodología con la que se diseñó el sistema de automatización, partiendo desde el dimensionamiento de conductores y dispositivos de protección, hasta la programación de todo el sistema de conchado.

En el capítulo 3, se desarrolló el análisis de las simulaciones del sistema de automatización, describiendo el correcto cumplimiento de las etapas del proceso y sus validaciones.

## **ABSTRACT**

*The conching process in the elaboration of chocolate is an essential stage for the development of this, since the acid flavors are eliminated, and the cacao paste is refined, it consists of a mechanical agitator to distribute homogeneously cocoa butter and its ingredients. other ingredients to have a quality chocolate. The Manobanda chocolate maker looking to expand and industrialize its production needed to perform this process automatically, thus improving their production times and reduce product losses by obtaining a certain number of samples to reach the approximate values of viscosity, pH and moisture. Based on this need, an automation system based on the programming of a PLC in function language and Profinet communication with an HMI will be designed for a real-time visualization of the different stages of the process, including the force and control diagrams, along with the design of the electrical panel. In chapter 1, the problem to be solved is presented and the objectives of the project are described, together with the scope of this.*

*In Chapter 2, the methodology used to design the automation system is detailed, starting from the sizing of conductors and protection devices, to the programming of the entire conching system.*

*In Chapter 3, the analysis of the simulations of the automation system was developed, describing the correct compliance of the stages of the process and their validations.*

*Keywords: Conching process, Chocolate, Cocoa, Viscosity, pH, Moisture*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE PLANOS .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
CAPÍTULO 1 .....	11
1.    Introducción.....	11
1.1    Descripción del problema .....	11
1.2    Justificación del problema.....	11
1.3    Objetivos.....	12
1.3.1    Objetivo General .....	12
1.3.2    Objetivos Específicos .....	12
1.4    Marco teórico .....	12
1.4.1    Parámetros fisicoquímicos en el proceso de conchado de chocolate ....	12
1.4.1.1    Humedad .....	13
1.4.1.2    pH.....	14
1.4.1.3    Viscosidad .....	15
1.4.1.4    Equipos y métodos de medición .....	16
CAPÍTULO 2.....	17
2.    Metodología .....	17



2.1	Dimensionamiento y diagramas del sistema.....	19
2.1.1	Equipos de fuerza .....	19
2.1.2	Equipos de control.....	22
2.1.3	Diagramas de conexiones.....	23
2.1.4	Esquema de tablero de Monitoreo .....	25
2.2	Programación .....	26
2.2.1	Etapas del proceso.....	28
CAPÍTULO 3.....		36
3.	Resultados y análisis.....	36
3.1	Simulación de proceso.....	36
3.2	Análisis de costos .....	46
CAPÍTULO 4.....		51
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	51
	Conclusiones .....	52
	Recomendaciones .....	52
BIBLIOGRAFÍA.....		54
ANEXOS.....		56

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PLC	Controlador Lógico Programable
HMI	Interfaz Hombre-Maquina
P&ID	Diagrama de Tuberías e Instrumentación

## SIMBOLOGÍA

A	Amperio
mA	Milésima de Amperio
cPs	Centésima de Poise
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
cm	Centésima de metro
V	Voltio
Vdc	Voltaje continuo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Humedad vs tiempo de conchado.....	13
Figura 1. 2 pH vs tiempo de conchado. ....	15
Figura 2. 1 Diagrama P&ID del proceso automatizado .....	18
Figura 2. 2 Diagrama de fuerza .....	23
Figura 2. 3 Diagrama de control: Sensores con PLC.....	24
Figura 2. 4 Diagrama de control: activación de contactores y luces piloto.....	25
Figura 2. 5 Tablero de monitoreo.....	26
Figura 2. 6 Diagrama de flujo del proceso .....	27
Figura 2. 7 Transición a la etapa 1.....	28
Figura 2. 8 Transición de la etapa 1 a 2.....	29
Figura 2. 9 Transición etapa 2 a 3 .....	29
Figura 2. 10 Transición etapa 3 a 4 .....	30
Figura 2. 11 Transición etapa 4 a 13 .....	30
Figura 2. 12 Transiciones etapa 13 a 12 y a 5.....	31
Figura 2. 13 Transición etapa 5 a 6 y a 7.....	32
Figura 2. 14 Transición etapa 11 a 1 .....	32
Figura 2. 15 Transición etapa 2 a 8 .....	33
Figura 2. 16 Transición etapa 9 a 14 .....	33
Figura 2. 17 Transición etapa 14 a 15 .....	34
Figura 2. 18 Transición etapa 15 a 10 .....	34
Figura 2. 19 Transición etapa 10 a 1 y etapa 10 a 11 y a 8 .....	35
Figura 3. 1 Pantalla de inicio de programa. ....	36
Figura 3. 2 Pantalla de selección de tipo de chocolate .....	37
Figura 3. 3 Pantalla de ingreso de parámetros .....	37
Figura 3. 4 Pantalla para ingresar parámetros de chocolate 1. ....	38
Figura 3. 5 Parámetros de chocolate 1 ingresados.....	38
Figura 3. 6 parámetros cargados en el programa.....	39

Figura 3. 7 Pantalla de proceso con lectura inicial de sensores .....	40
Figura 3. 8 Indicadores de sensado y extracción de muestra.....	40
Figura 3. 9 Entrada de agua destilada.....	41
Figura 3. 10 Encendido de mixer y enfriadores.....	41
Figura 3. 11 Sensado de pH.....	42
Figura 3. 12 Desfogue de muestra sensada.....	43
Figura 3. 13 Ingreso de ingrediente 1.....	43
Figura 3. 14 Ingreso de ingrediente 2.....	44
Figura 3. 15 Ingreso de ingrediente 3.....	44
Figura 3. 16 Ingreso de ingredientes a la conchadora.....	45
Figura 3. 17 Cambio de valores de parámetros durante el proceso.....	45
Figura 3. 18 Fin del proceso de conchado.....	46
Figura Anexos A1. 1 Datos técnicos de bomba lobular .....	57
Figura Anexos A1. 2 Hoja técnica de sensor de viscosidad .....	58
Figura Anexos A1. 3 Hoja técnica de sensor de humedad .....	59
Figura Anexos A1. 4 Hoja técnica de sensor de pH.....	60
Figura Anexos A1. 5 Hoja técnica de transmisor de pH.....	61
Figura Anexos A2. 1 Amperaje según la potencia de trabajo.....	62
Figura Anexos A2. 2 Calibre del conductor según el amperaje.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Contenido de humedad en diferentes tipos de chocolate .....	14
Tabla 3. 1 Costo de fabricación de 500kg de chocolate 70% cacao.....	47
Tabla 3. 2 Muestra necesaria para el monitoreo de parámetros de forma manual ....	47
Tabla 3. 3 Muestra necesaria para el monitoreo de parámetros de forma automática .....	47
Tabla 3. 4 Ganancia total de producción: método manual vs automático.....	48
Tabla 3. 5 Costos de equipos 1 .....	49
Tabla 3. 6 Costos de equipos 2 .....	49
Tabla 3. 7 Viabilidad económica del proyecto.....	50



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Ecuador al ser un gran productor de cacao fino de aroma, el mas usado y que da el mejor sabor para elaborar de manera artesanal o industrial un chocolate de excelente calidad en sus distintas presentaciones como son licor de chocolate, chocolate en polvo, tabletas, coberturas, bombones al ser mezclados con otros productos o frutos secos. En la industria nacional se tiene a un productor que destaca por su sabor el cual es Pacari Chocolate que se convirtió en pionero en exportación de chocolate y actualmente obteniendo varias premios del “International Chocolate Awards” con lo que cambio la narrativa de como el mundo ve a Ecuador basado en este ejemplo hay que ayudar a que productores de chocolates artesanales se industrialicen y mejoren la calidad de sus productos y poder exportar chocolate de la mejor calidad posible para así tener una mayor aceptación y apreciación de nuestros productos locales en el mundo.

### 1.1 Descripción del problema

No se tiene un monitoreo de las características fisicoquímicas del chocolate, como son el pH, humedad y viscosidad, durante el proceso de conchado lo que afecta en la calidad del producto final, además no se tiene un control del momento adecuado en el cual agregar los ingredientes adicionales ya que esto depende de la viscosidad en la que se encuentre el chocolate durante el proceso.

### 1.2 Justificación del problema

Se diseñara un sistema para poder obtener datos acerca que de la humedad en la que estará el chocolate durante el proceso con esto se evitará la posible presencia de manchas blancas en el producto final, también se obtendrá datos sobre la viscosidad con esto se podrá saber en qué momento agregar cada ingrediente del tipo de chocolate que se esté preparando para obtener una buena mezcla de cada uno, se obtendrá datos sobre el pH del chocolate extrayendo una muestra con una bomba donde esta se diluirá para que el sensor pueda medir el pH y con esto mantendremos el rango preciso para tener una buena calidad en el sabor del chocolate.



## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de control del proceso de conchado y monitoreo de las características fisicoquímicas del chocolate para la obtención de una mezcla correcta de ingredientes y una mejor calidad del producto final mediante el uso de sensores y un sistema Scada del proceso.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar las variables fisicoquímicas del chocolate durante el proceso para la determinación de la calidad del producto en un menor tiempo y de forma más precisa.
2. Determinar el momento adecuado para la adición de los ingredientes en la preparación de distintos tipos de chocolate mediante el censado de la viscosidad del producto durante el proceso.
3. Mostrar el proceso en una HMI para la visualización en tiempo real de las variables y la configuración de estas que dependerán del tipo de chocolate.
4. Registrar el valor de las variables en la finalización del proceso de conchado para la elaboración de una base de datos sobre la calidad con la que sale el producto.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Parámetros fisicoquímicos en el proceso de conchado de chocolate**

El proceso de conchado del chocolate es la penúltima fase en la elaboración del chocolate, en esta se eliminan ácidos volátiles causantes de sabores no deseados, se reduce la humedad y la viscosidad, obteniendo así un producto semilíquido y de buena calidad [1]. Cada parámetro fisicoquímico que se encuentra en este proceso causa un efecto en el chocolate y cada tipo tiene valores de calidad distintos, conforme han pasado los años se han hecho estudios de cómo se comportan estos parámetros en el proceso y con ello poder lograr un mejor control del mismo.

### 1.4.1.1 Humedad

El chocolate llega con un alto porcentaje de humedad a la máquina conchadora, esto se debe a las partículas de azúcar que se añade al momento de refinar los nibs de cacao [2]. La primera etapa del conchado es la fase seca, en esta se evapora la mayor cantidad de agua de la pasta de cacao por medio de calentamiento, mezcla por medio de rodillos de piedra granito o bolillas metálicas y aeración. En un experimento realizado por Andrea Bordin Schumacher se encontró la variación de la humedad con relación al tiempo de conchado, se la efectuó en dos conchadoras una industrial y una de laboratorio. En la figura 1.1 se puede observar como la humedad cae rápidamente en la fase seca, que dura aproximadamente 5 horas, estos valores bajo se mantienen en el paso de la fase seca a la fase pastosa que son las 4 siguientes horas del proceso [3]. Según Afoakwa "el contenido de humedad en el chocolate fundido es de 0.5-1.5% un contenido mayor podría causar que las partículas de azúcar se cristalicen en la superficie del chocolate después del temperado y moldeado" [1].

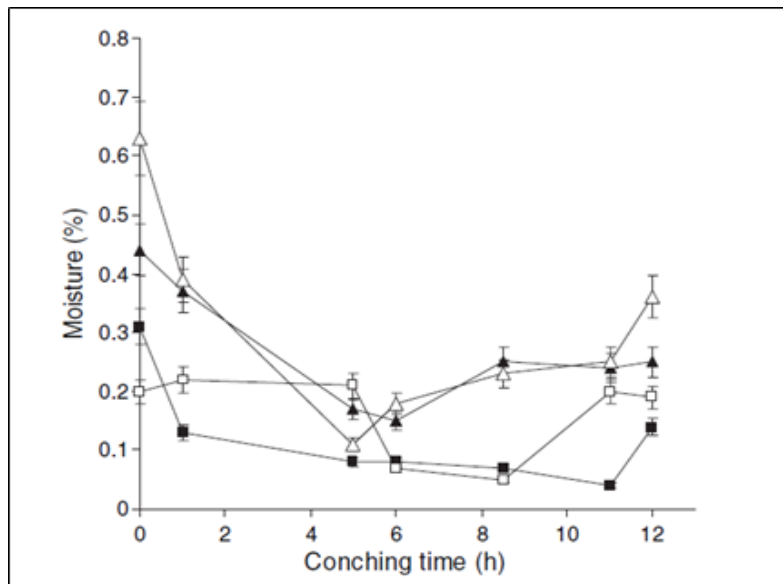


Figura 1. 1 Humedad vs tiempo de conchado [3].

A pesar de que al final la humedad incrementa debido a que el chocolate trata de entrar en equilibrio con la humedad del ambiente [3], los valores que encontró Schumacher siguen en el rango de calidad aceptada que menciona Afoakwa. Para medir la humedad Schumacher tomo muestras del proceso y las colocó en un RVT 220 vacuum dryer (Hereaus, Hanau, Germany).

Sin embargo, el tiempo de conchado no es lo único que afecta la humedad del chocolate si no también la temperatura ya que en las 3 fases del conchado se trabaja con temperaturas diferentes, fase seca (5 horas) se mantiene en 70 C°, fase pastosa (3 horas) pasa de 70 a 60 C°, fase líquida (4 horas) pasa de 60 a 45 C° [3]. Estos valores de humedad son de chocolate negro y chocolate con leche, sin embargo, en el mercado internacional podemos encontrar variedad de mezclas, ya sean frutales o de especias, en la tabla 1.1 podemos observar algunas de estas combinaciones y como cada una tiene un valor diferente de humedad.

**Tabla 1. 1 Contenido de humedad en diferentes tipos de chocolate [4]**

Tipo de chocolate	Humedad (%)
Chocolate negro	0.52±0.09
Chocolate con canela	0.54±0.05
Chocolate con anís estrellado	0.96±0.34
Chocolate con jengibre	0.66±0.18
Chocolate con limón	0.54±0.02

#### **1.4.1.2 pH**

El pH tiene un efecto importante en el sabor del chocolate se trata de que el producto salga con un rango de pH neutral entre 5.5 y 7. En el proceso de conchado se eliminan ácidos volátiles que causan mal sabor al chocolate, los nibs de cacao puro poseen mucha acidez incluso después de pasar por el proceso de alcalinización una vez terminado el refinado [1], es por eso que se usa el conchado para eliminar estos ácidos y darle mejor

sabor. Al tener un chocolate más puro como el chocolate negro que suele poseer 70% de pasta de cacao el sabor será amargo, como se observa en la figura 1.2 el chocolate negro tiene un menor pH, aproximadamente  $5,9\pm 0,1$ , en comparación al chocolate con leche, aproximadamente  $6,3\pm 0,1$ , debido justamente a la mayor presencia de pasta de cacao, también se puede apreciar como a mayor velocidad la disminución del pH es más rápida [2].

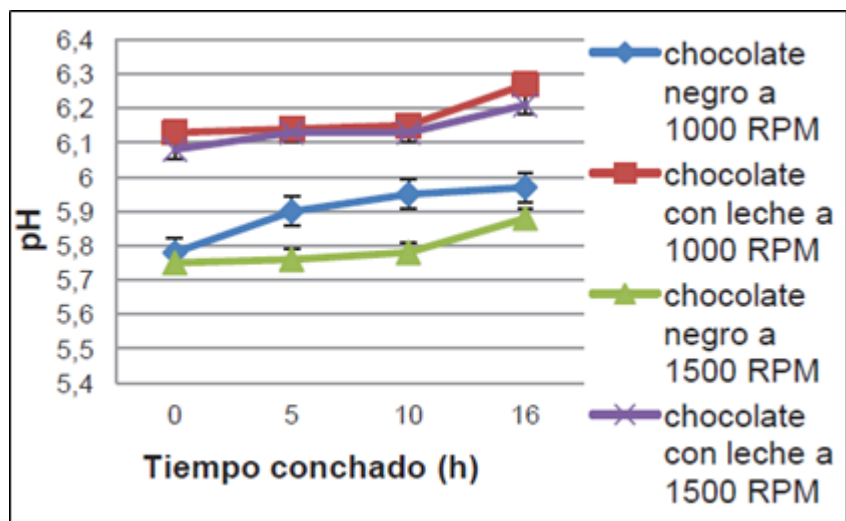


Figura 1. 2 pH vs tiempo de conchado [2].

### 1.4.1.3 Viscosidad

La Viscosidad para en la pasta de cacao es importante ya que varia el sabor y su textura en su forma final, además se necesita cierto nivel de viscosidad para que pueda entrar a las maquinas del proceso de temperado ya que si pasa de esto limites no fluye en las siguientes maquinas [3]. La viscosidad se mide en Poise, siendo un poise la viscosidad de un liquido en el que deslizar una capa de un centímetro cuadrado de área a la velocidad de 1cm/s respecto a otra estacionaria situada a 1 cm de distancia [5].

#### **1.4.1.4 Equipos y métodos de medición**

Para realizar las distintas mediciones necesarias para saber la calidad de la pasta de cacao tales como pH, Viscosidad y Humedad. Para obtener mediciones de humedad normalmente se lo realiza utilizando métodos gravimétricos; para realizar la medición de pH hay que diluir la pasta de cacao con agua previamente filtrada para así tomar la muestra de pH utilizando un electrodo y finalmente para tomar la muestra y analizar la viscosidad se utiliza un reómetro en intervalos(logarítmicos) definidos de esfuerzos de corte para ir creando curvas de viscosidad y aproximar su valor real [2].

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

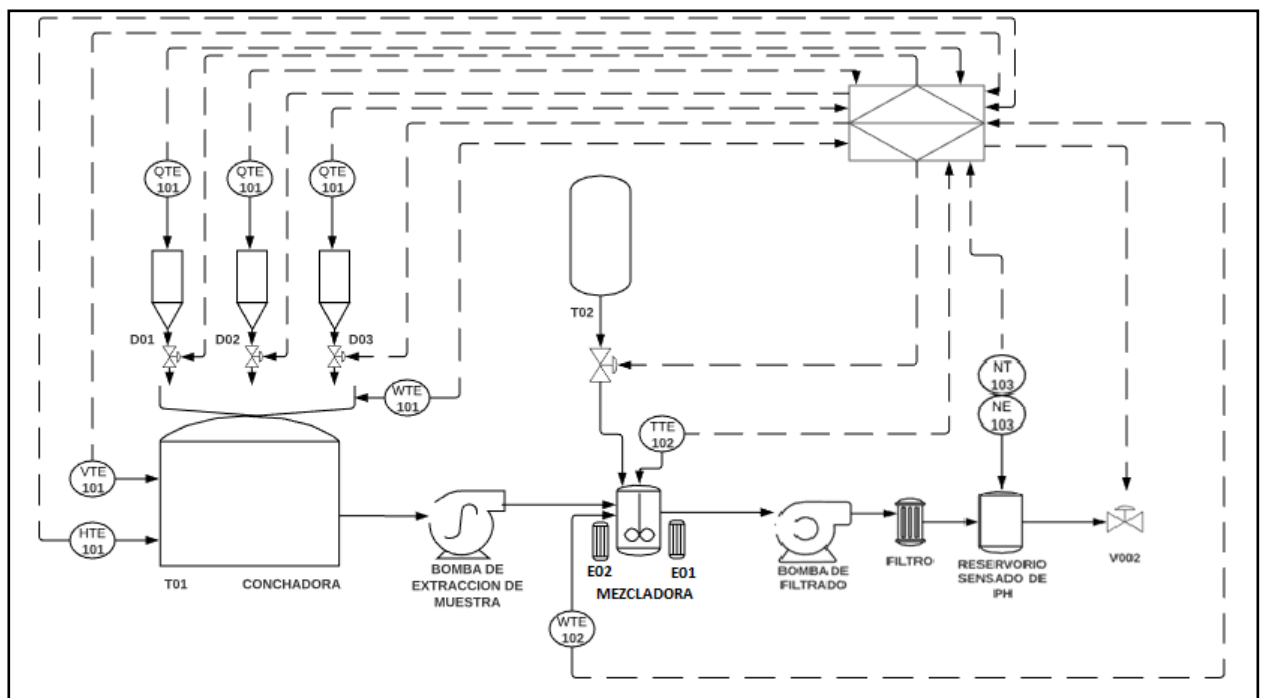
Una vez identificado el problema se ha encontrado dos alternativas para darle solución:

- a) Planificar intervalos para toma de muestras y análisis del chocolate durante el proceso, esto se lo realiza con equipos de laboratorio, al realizar estos análisis se logrará estimar el tiempo de conchado faltante, además de estimar el momento correcto para añadir grasas, emulsionantes y otros ingredientes de tal manera que se obtenga una mezcla homogénea y de calidad. Llevar un registro por cada muestra que se analice y una al final del proceso.
- b) Mediante sensores en el proceso tener un monitoreo continuo en tiempo real de los parámetros fisicoquímicos del chocolate y mediante un controlador lógico programable controlar el momento indicado para añadir grasas, emulsionantes y otros ingredientes o finalizar el proceso de conchado cuando se llegue a los valores preestablecidos por el operador. Llevar un registro cada hora y al finalizar el proceso sobre el estado del chocolate.

La mejor alternativa sin embargo es la opción "b" ya que el sensado es continuo durante todo el proceso lo que conlleva a un ahorro de tiempo y mayor precisión, además de un análisis computarizado basado en los mismos análisis que se realizan en un laboratorio. La forma de añadir los ingredientes se hace de manera automática, una vez que los valores lleguen al nivel correcto, el PLC manda a activar los dosificadores que contienen los ingredientes, con esto se logra una precisión que no se logra con la opción "a" ya que en esta todo se realiza de forma manual por un operador. La ventaja que nos da el escoger la opción "b" es el ahorro de tiempo en la elaboración del chocolate y por ende mayor producción sin perder la calidad.

Por lo tanto, el prototipo a diseñar consistirá en tres sensores con los que obtendremos datos del proceso: sensor de viscosidad, sensor de humedad y sensor

de pH. Los sensores de viscosidad y humedad serán colocados en la máquina conchadora, para el sentido de pH se colocará un sistema de extracción que consiste en una bomba que extraerá una pequeña cantidad de muestra y la llevará a un reservorio donde será diluido con agua destilada según lo indica el método 970.21 AOAC [6], para medir pH, una vez que el sentido fue efectuado la muestra será evacuada del reservorio por medio de una electroválvula. La extracción de muestra se hará en intervalos de dos horas. En la figura 2.1 se observa el diagrama P&ID del proceso.



**Figura 2. 1 Diagrama P&ID del proceso automatizado**

Para la adición de ingredientes se toma en cuenta el nivel de viscosidad que tenga el chocolate durante el proceso, al llegar a un 63% de la viscosidad inicial se activa el dosificador que contiene manteca de cacao hasta vaciar la mitad del peso setead, esta es depositada en una tolva que luego dejara caer la manteca en la conchadora. Luego al llegar 43% de la viscosidad inicial, que es cuando se pasa de la etapa pastosa a la etapa liquida del conchado [2], se activaran secuencialmente todos los dosificadores que dejaran caer los ingredientes sobre una tolva central recogida, montada sobre una báscula o células de carga, el peso de cada ingrediente se ira midiendo de acuerdo a como vaya cayendo en la tolva hasta completar la suma de

pesos de los tres ingredientes. Cuando ya los tres ingredientes están listos se abre la compuerta inferior de la tolva dejando caer los ingredientes en la máquina conchadora.

Una vez terminada la adición de los ingredientes, se espera a que los valores de las variables sensadas estén dentro del rango seteado por el operador, cuando ya están las tres dentro del rango el proceso termina y se apaga la máquina.

## **2.1 Dimensionamiento y diagramas del sistema.**

El sistema completo incluida la máquina conchadora cuenta con los siguientes equipos y dispositivos:

- Molino refinador conchador (Motor 3Ø)
- Bomba de extracción de muestra
- Bomba de filtrado
- Reservorio de mezclado de muestra (Mezclador)
- Reservorio de sensado pH
- Filtro
- Enfriadores
- Termostato
- Válvula de reservorio de agua
- Válvula de desfogue
- Dosificadores volumétricos
- Tolva de recogida
- Sensor de viscosidad
- Sensor de humedad
- Sensor de pH

Para mayor detalle sobre el tipo de sensores usados ver en el anexo A1, se realizó el dimensionamiento de las protecciones y conductores de los equipos basándonos en los datos técnicos de voltaje, corriente y potencia.

### **2.1.1 Equipos de fuerza**

#### *Molino Refinador Conchador*

El modelo de conchadora usado es el Molino refinador conchador “Monty 500” que cuenta con un motor trifásico de 220Vac con una frecuencia de 60 Hz y una potencia de



20 HP, la corriente nominal es de 54 A de acuerdo con tabla 2.1 del anexo A2[7]. De acuerdo con el artículo 430.24 del NEC [7] se realizó el siguiente cálculo, mediante la ecuación 2.1.

$$I_{conductor} = \left( I_{plena\ carga} (1.25) \right) \quad (2.1)$$

$$I_{conductor} = (54 (1.25))$$

$$I_{conductor} = 67.5 A$$

De esta manera, se seleccionó el conductor 6AWG-2000V-90°C para las tres fases y la tierra de acuerdo con la tabla 2.2 del anexo A2. Para dimensionar el dispositivo de protección del tipo inverso, se utilizó el artículo 430.52 del NEC [7], mediante la ecuación 2.2.

$$I_{Dispositivo} = \left( I_{plena\ carga} (2.5) \right) \quad (2.2)$$

$$I_{Dispositivo} = (54 (2.5))$$

$$I_{Dispositivo} = 135 A$$

Se seleccionó un dispositivo de protección de 150 A que es el inmediato superior.

#### *Bomba de extracción de muestra*

La bomba que se utilizará será una bomba lobular rotativa para altas viscosidades [19], alimentación de 220Vac trifásico conexión delta, potencia de 3 HP con una frecuencia de 60 Hz, la corriente nominal es de 9.6 A de acuerdo con tabla 2.1 del anexo A2[7]. De acuerdo con el artículo 430.24 del NEC [7] se realizó el siguiente cálculo, mediante la ecuación 2.1.

$$I_{conductor} = \left( I_{plena\ carga} (1.25) \right) \quad (2.1)$$

$$I_{conductor} = (9.6 (1.25))$$

$$I_{conductor} = 12 A$$

De esta manera, se seleccionó el conductor 14AWG-2000V-75°C para las tres fases y el neutro de acuerdo con la tabla 2.2 del anexo A2. Para dimensionar el dispositivo de protección del tipo inverso, se utilizó el artículo 430.52 del NEC [7], mediante la ecuación 2.2.

$$I_{Dispositivo} = \left( I_{plena\ carga} (2.5) \right) \quad (2.2)$$

$$I_{Dispositivo} = (9.6 (2.5))$$

$$I_{Dispositivo} = 24 A$$

Se seleccionó un dispositivo de protección de 25 A que es el inmediato superior. Para más información sobre la bomba lobular ver anexo A1.

### *Bomba de filtrado*

La bomba que se utilizará tiene alimentación de 220Vac trifásico, potencia de 1 HP con una frecuencia de 60 Hz, la corriente nominal es de 4.2 A de acuerdo con tabla 2.1 del anexo A2[7]. De acuerdo con el artículo 430.24 del NEC [7] se realizó el siguiente cálculo, mediante la ecuación 2.1.

$$I_{conductor} = \left( I_{plena\ carga} (1.25) \right) \quad (2.1)$$

$$I_{conductor} = (4.2 (1.25))$$

$$I_{conductor} = 5\ A$$

De esta manera, se seleccionó el conductor 16AWG-2000V-75°C para la fase, el neutro y la tierra de acuerdo con la tabla 2.2 del anexo A2. Para dimensionar el dispositivo de protección del tipo inverso, se utilizó el artículo 430.52 del NEC [7], mediante la ecuación 2.2.

$$I_{Dispositivo} = \left( I_{plena\ carga} (2.5) \right) \quad (2.2)$$

$$I_{Dispositivo} = (4.2 (2.5))$$

$$I_{Dispositivo} = 10.5\ A$$

Se seleccionó un dispositivo de protección de 15 A que es el inmediato superior.

### *Mixer y enfriadores.*

El mixer y los enfriadores poseen un motor de 110Vac, potencia de 1/2 HP con una frecuencia de 60 Hz, la corriente nominal es de 4.4 A de acuerdo con tabla 2.1 del anexo A2[7]. De acuerdo con el artículo 430.24 del NEC [7] se realizó el siguiente cálculo, mediante la ecuación 2.1.

$$I_{conductor} = \left( I_{plena\ carga} (1.25) \right) \quad (2.1)$$

$$I_{conductor} = (4.4 (1.25))$$

$$I_{conductor} = 5.5\ A$$

De esta manera, se seleccionó el conductor 14AWG-2000V-75°C para la fase, el neutro y la tierra de acuerdo con la tabla 2.2 del anexo A2. Para dimensionar el dispositivo de protección del tipo inverso, se utilizó el artículo 430.52 del NEC [7], mediante la ecuación 2.2.

$$I_{Dispositivo} = (I_{plena\ carga}(2.5)) \quad (2.2)$$

$$I_{Dispositivo} = (4.4(2.5))$$

$$I_{Dispositivo} = 11\ A$$

Se seleccionó un dispositivo de protección de 15 A que es el inmediato superior.

### 2.1.2 Equipos de control

De acuerdo con el diseño propuesto se pudo determinar 5 entradas analógicas y 4 entradas digitales y además 10 salidas digitales, con esto se seleccionó un PLC S7-1200 modelo 1214 DC/DC/DC [8], una pantalla HMI KTP400 basic [9] y un módulo de entradas analógicas SM1231 [10], como dispositivos de control y monitoreo. Se selecciono una fuente de 24V-10 A para la alimentación del PLC y una fuente de 24Vdc- 10 A para la alimentación de la HMI y las entradas digitales.

De esta manera se dimensiona la protección para las fuentes de 24Vdc según el artículo 240 del NEC [7].

$$I = I_{fuente}$$

$$I = 10\ A$$

Como son dos fuentes de 24Vdc una para el PLC, otra para sensores y HMI, se seleccionará un dispositivo de protección de 20 A y el conductor 12AWG-1000V-60°C para la fase y el neutro.

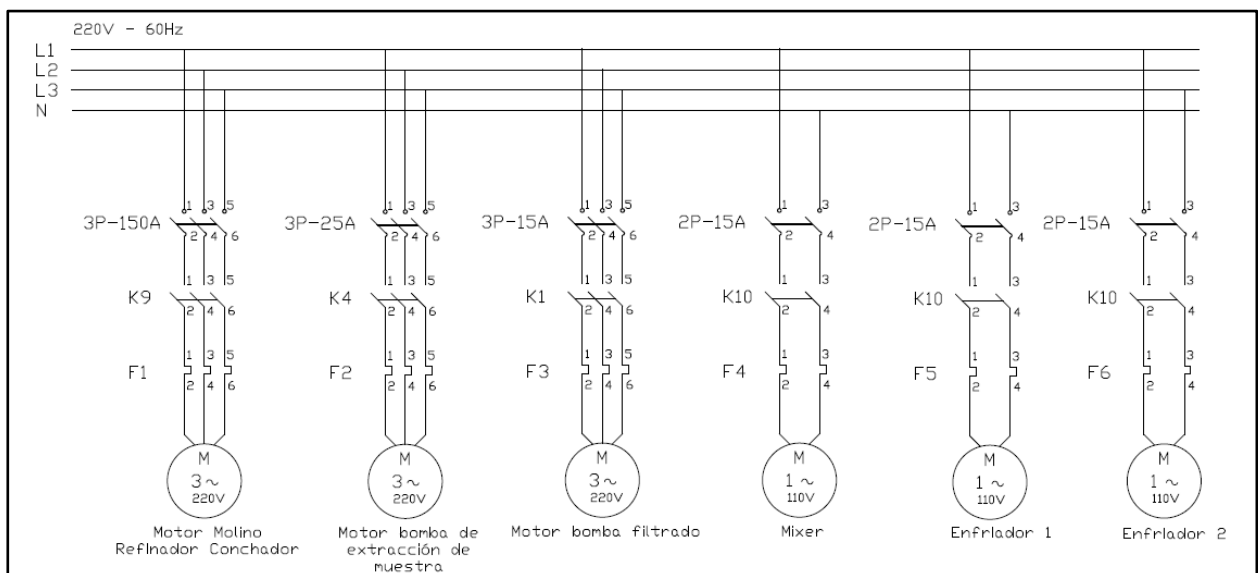
Para el sensado de viscosidad se usa el sensor XL7 de Hydramation, se basa en el método de sensado vibracional, está diseñado con un material espacialmente para trabajos con alimentos de acuerdo con 1935/2004/EC [13]. Es de fácil instalación en un tanque ya que posee un sistema de abrazaderas de liberación rápida, posee una salida análoga de 4-20mA para comunicarse con un PLC [14], para ver datos técnicos del sensor ir a anexos A1.

Para el sensado de humedad se usa el sensor Hydro-Probe SE de Hydronix, se usa para mediciones de líquidos disueltos en el proceso se basa en el principio de medición por microondas para determinar la humedad en el material, no necesita ser retirada del equipo, posee una salida análoga de 4-20mA para comunicación con PLC [15], para ver datos técnicos ir a anexos A1.

Para el sensado de pH se usa el sensor Unifit CPA442 [17] y el transmisor Liquiline CM44X [18] de Endress and Hauser, está diseñado para procesos alimenticios limpios y esterilizados de acuerdo con los criterios EHEDG y 3A [16]. El sensor se conecta al transmisor y este envía la señal analógica de salida hacia un PLC, para ver datos técnicos ir a anexos A1.

### 2.1.3 Diagramas de conexiones

En el diagrama de fuerza se puede observar las protecciones antes dimensionadas, así como los contactores de activación, motores y bombas que están dentro del sistema diseñado. El sistema de alimentación es de 220V trifásico a 60Hz.

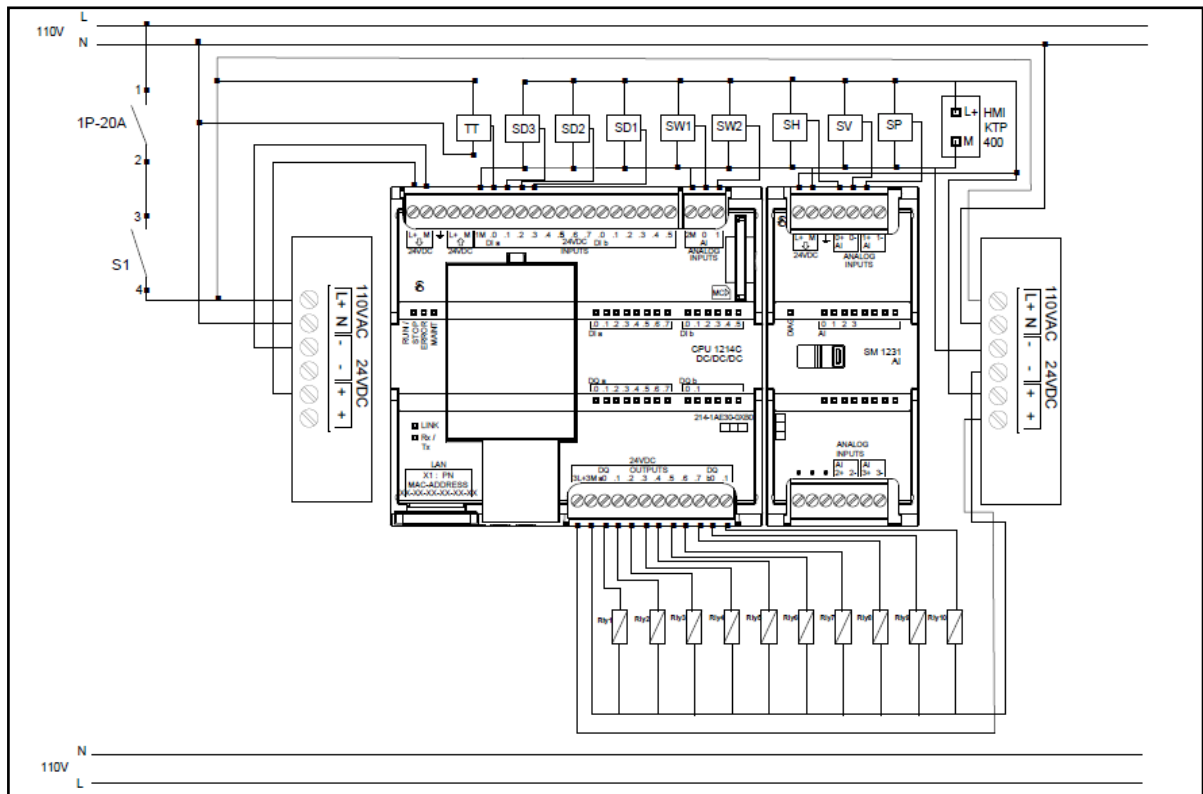


**Figura 2. 2 Diagrama de fuerza**

En el diagrama de control se puede observar las entradas analógicas y digitales que provienen de los sensores, así como también las salidas que activan los relays, que a su vez activarán contactores para energizar las máquinas del proceso. A continuación, se describe el significado de cada sigla en el diagrama de control

- TT: Salida de Relay de termos
- tato del reservorio mezclador de muestra
- SD3: Sensor de Presencia de ingrediente 3
- SD2: Sensor de Presencia de ingrediente 2
- SD1: Sensor de Presencia de ingrediente 1 (manteca de cacao)
- SW1: Sensor de Peso de tanque de mezcla de ingredientes

- SW2: Sensor de Peso de tanque que almacena la muestra pasta de cacao diluida para el censado de ph
- SH: Sensor de humedad
- SV: Sensor de Viscosidad
- SP: Sensor de Ph



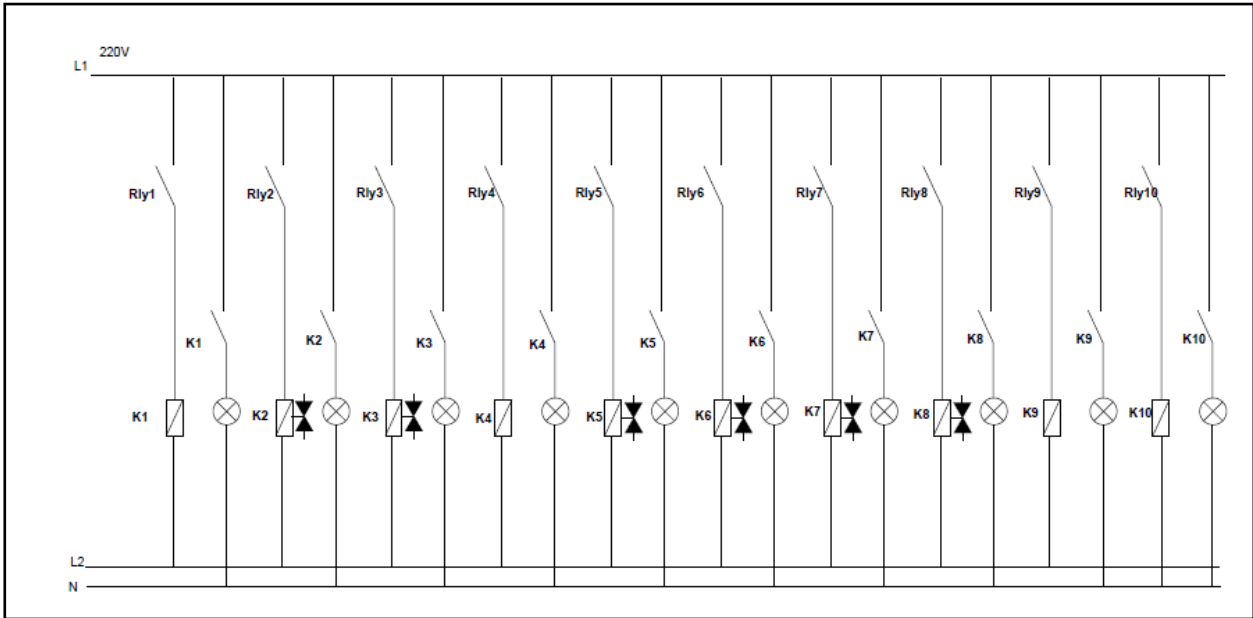
**Figura 2. 3 Diagrama de control: Sensores con PLC**

En la figura 2.4 se puede observar el diagrama eléctrico de los contactores que son activados con la señal de los relays, con estos se energizan las máquinas del sistema. Además, se incluyen luces piloto(110Vac) que indicaran cuando este activada alguna salida. La mayor parte de ellas son de 220Vac, sin embargo, el mixer y los enfriadores trabajan con 110Vac, estos son activados con el contactor K10.

Continuando con las salidas de el relays 9 activa el contactor K9 que fue asignado al molino refinador conchador que es un motor trifásico a 220v por lo cual este contactor también lo es, el relays 8 activa el contactor k8 que es un dosificador volumétrico para el tanque del primer ingrediente, así como relays 7 activa el contactor k7 que es también un dosificador volumétrico pero para el segundo ingrediente; el relays 6 y 5 que activan los

contactor 6 y 5 respectivamente fueron asignados para los dosificadores volumétricos de tanque del tercer ingrediente y para tanque de mezclado de ingredientes, el relay 4 fue asignado para que active el contactor k4 que enciende el motor trifásico de la bomba de extracción de la pasta de cacao para la muestra de ph, el relay 3 fue asignado para que active el contactor k3 para la activación de la válvula dosificadora de disolvente, el relay 2 fue asignado para que active el contactor k2 para la activación de la válvula de desfogue de la muestra de ph ya censada.

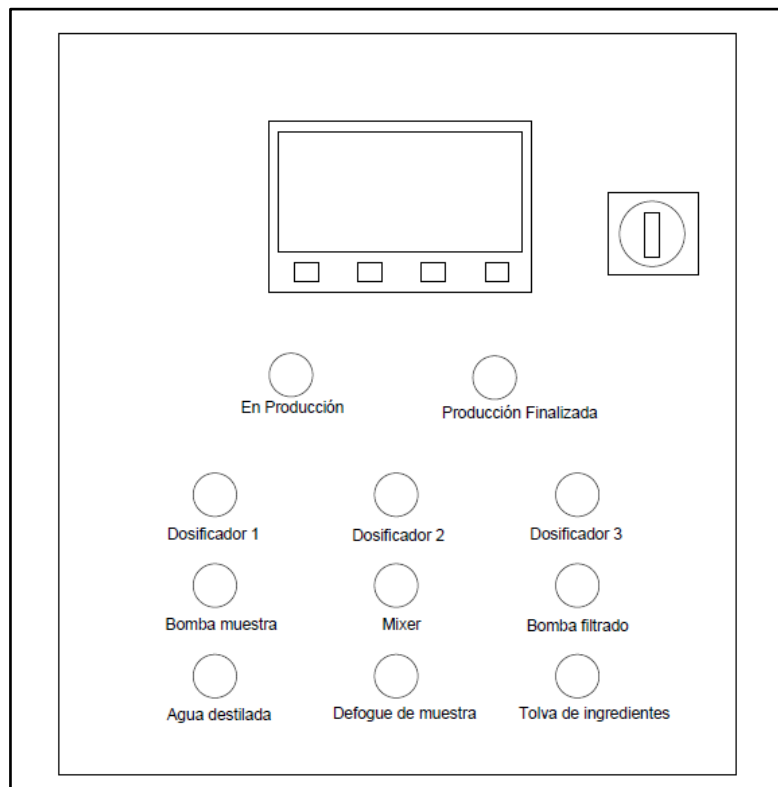
El relay 1 fue asignado para que active el contactor k1 para la activación del motor de la bomba para pasar la muestra del tanque de mezclado al de censado



**Figura 2. 4 Diagrama de control: activación de contactores y luces piloto**

**2.1.4 Esquema de tablero de Monitoreo**

El tablero de monitoreo cuenta con la pantalla HMI KTP400, luces piloto que indican el estado de las salidas del proceso y switch para energizar el sistema, se dejará el espacio respectivo para los relays, disyuntores, contactores y módulo de entradas analógicas.



**Figura 2. 5 Tablero de monitoreo**

## 2.2 Programación

Para conocer en que instantes deberán activarse los equipos y además de llevar un debido control y seguimiento sobre el proceso de conchado, se realizó una programación lógica secuencial, como se observa en la figura 2.6

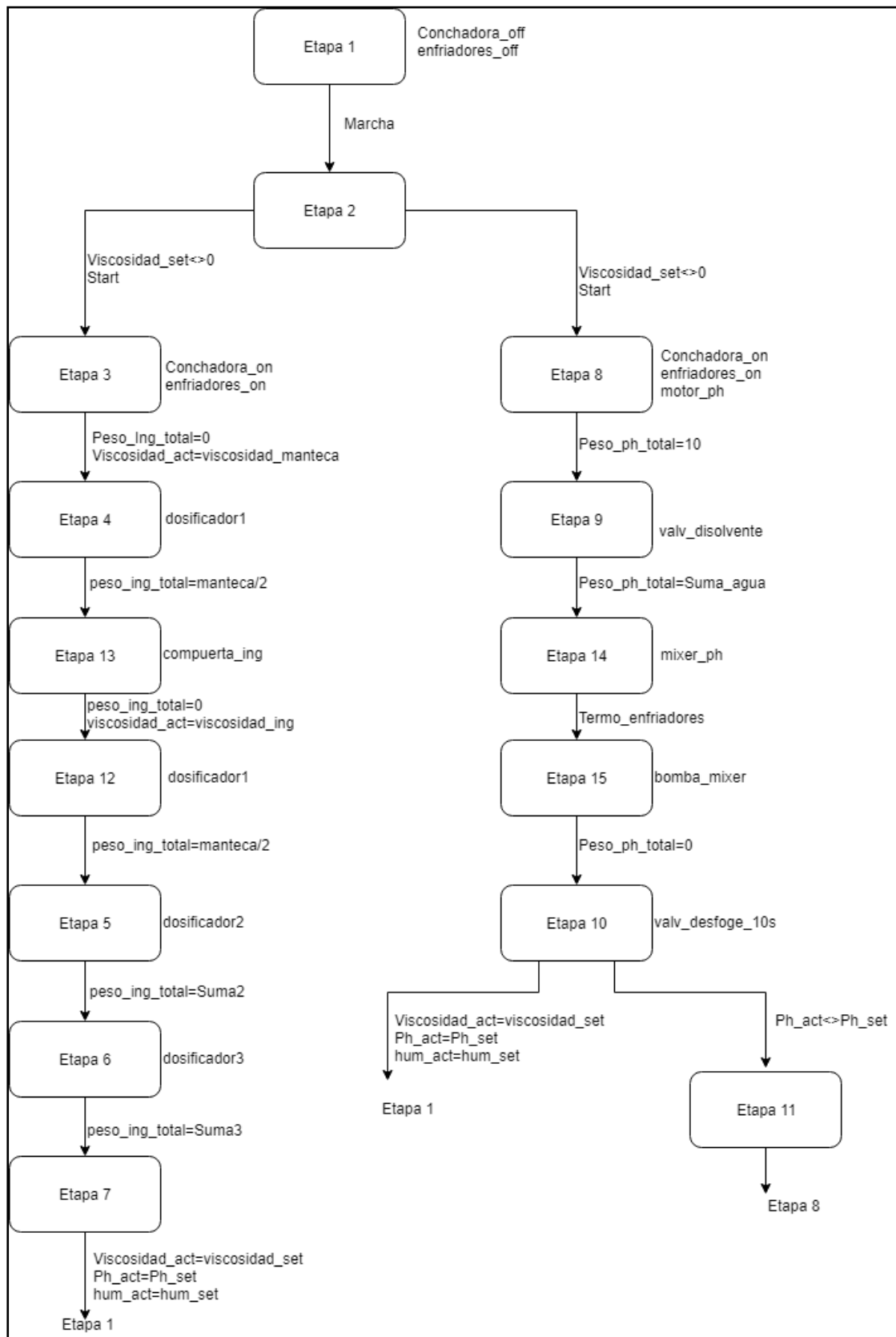


Figura 2. 6 Diagrama de flujo del proceso



A continuación, se describe las etapas del proceso

### 2.2.1 Etapas del proceso

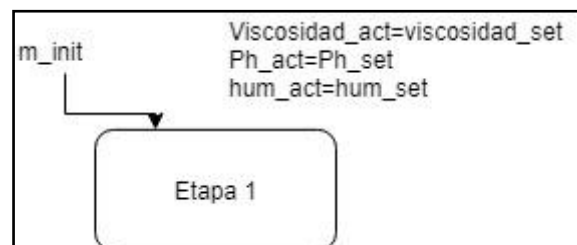
A partir del diagrama de control Figura 2.3, se realizó una tabla de variables digitales y analógicas, que intervienen en el proceso de conchado, que afectan las transiciones entre cada etapa, permitiendo así el diseño de un diagrama de flujo del proceso.

Así de esta manera, el proceso del conchado tiene 3 puntos importantes en su desarrollo que son la inicialización de sistema, la dosificación de ingredientes y el censado del ph.

- Inicialización de sistema: Ingreso de los parámetros como viscosidad, ph, humedad, cantidad de manteca de cacao, y demás ingredientes de cada tipo de chocolate y selección de chocolate a preparar.
- Dosificación de Ingredientes: Pesaje de cantidad de ingredientes necesarios para cada chocolate y agregado a la viscosidad correcta a la máquina de conchado para su finalización.
- Censado del Ph: Extracción de la muestra de la maquina de conchado. Disolución de la muestra, enfriado de la muestra y desfogue.

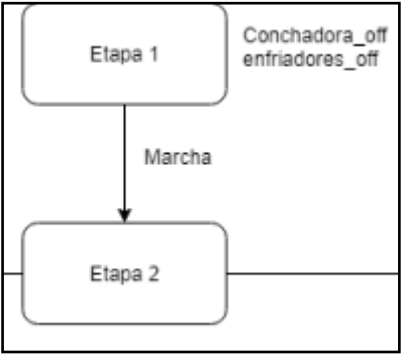
#### Inicialización

Para ingresar esta etapa se lo puede hacer de 2 métodos presionando M\_init en cualquier parte del proceso o que proceda de la etapa 7 cuando la viscosidad, Ph y humedad hallan llegado a su punto final del proceso anterior. De esta manera se realizo el diagrama de flujo con las condiciones de transición a la etapa 1 así como se puede notar en la Figura 2.7



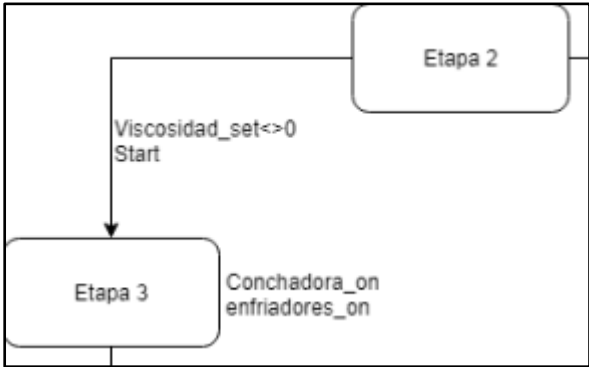
**Figura 2. 7 Transición a la etapa 1**

Una vez en la etapa se debe apagar el motor del conchadora del proceso pasado y apagar los enfriadores de la muestra diluida del ph y presionar el botón marcha para así poder continuar a la etapa 2 así como se observará en la Figura 2.8



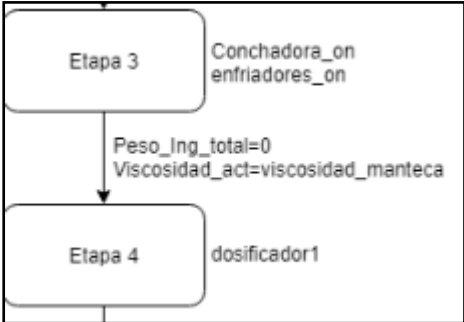
**Figura 2. 8 Transición de la etapa 1 a 2**

Y aquí termina la parte de inicialización, continuando con el proceso llegamos a la parte de dosificación de ingredientes y censado de ph que funcionan en paralelo además para poder continuar la etapa se valida si la viscosida\_set es distinta de 0 eso quiere decir que ah seleccionado un tipo de chocolate y además presionar el botón Start y podrá proceder a las etapas 3 y etapa 8, Inicio de la conchadora y censado de Ph respectivamente mientras al estar en la etapa 3 enciende el motor de la conchadora y los enfriadores de la muestra de ph así como se puede ver en la Figura 2.9



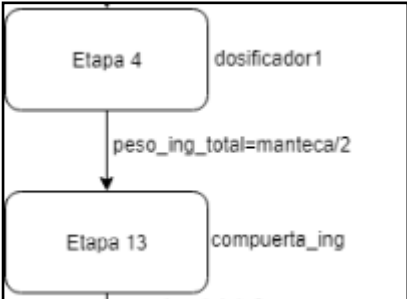
**Figura 2. 9 Transición etapa 2 a 3**

En la etapa 3 se procede a confirmar si el `Peso_ing_total` es igual 0 esto me indica que el tanque dosificador de todos los ingredientes se encuentre vacío y además espera a que la viscosidad actual sea igual a la viscosidad para ingresar la manteca de cacao que por experimentos previo se logro concluir que esta es aun 76% de la viscosidad con la que se inicio el proceso cuando cumpla con estas condiciones se procederá a pasar a la etapa 4 en la que se abre el dosificador1 que es el que contiene la manteca de cacao.



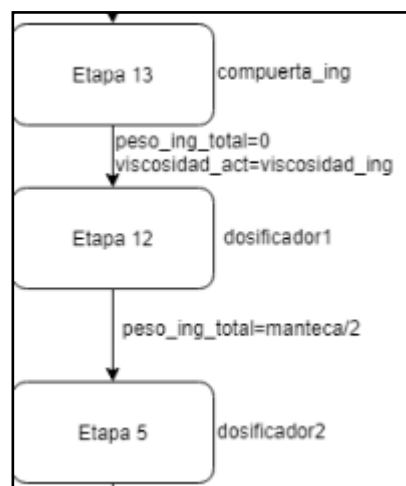
**Figura 2. 10 Transición etapa 3 a 4**

Se mantiene en la etapa 4 con el dosificador1 encendido hasta que el `peso_ing_total` sea igual la mitad del peso de seteadado de manteca de cacao para así pasar a la etapa 13 donde se cierra el dosificador 1 y abre la `compuerta_ing` para que se junten con la pasta de cacao en la conchadora, así como se puede observar en la Figura 2.11



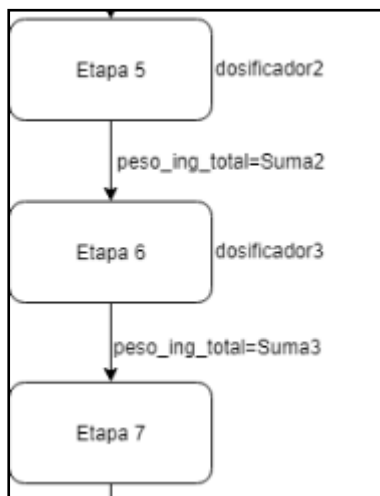
**Figura 2. 11 Transición etapa 4 a 13**

Se mantiene en la etapa 13 hasta que peso\_ing\_total sea igual 0 lo que quiere que el tanque de los ingredientes se encuentre vacío y además que la viscosidad actual sea igual a la viscosidad para ingreso de los demás ingredientes ya que por experimentos pasados lograron concluir que es a un 56% de la viscosidad inicial para luego de cumplir con las condiciones anteriores proceder a pasar a la etapa 12 donde se vuelve a abrir el dosificador 1 que es el manteca de cacao hasta cuando peso\_ing\_total sea igual a la mitad del peso de la manteca de cacao pre-establecida y así poder pasar de la etapa 12 a la 5 como se puede observar en la Figura 2.12



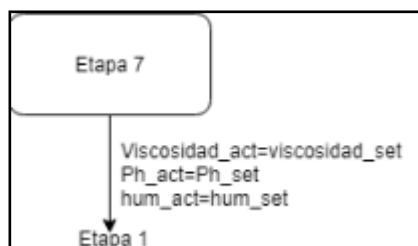
**Figura 2. 12 Transiciones etapa 13 a 12 y a 5**

En la etapa 5 se procede a abrir el dosificador del ingrediente 2 hasta que el peso\_ing\_total sea igual al peso de la mitad de manteca de cacao más el peso del ingrediente 2 que en nuestra figura 2.11 la denominamos suma2 y así poder pasar a la etapa 6 en la que se procede a abrir el dosificador 3 hasta que peso\_ing\_total sea igual a suma 3 que es la suma de todos los pesos pre-establecidos y pasar a la etapa 7 como se puede observar en la Figura 2.13



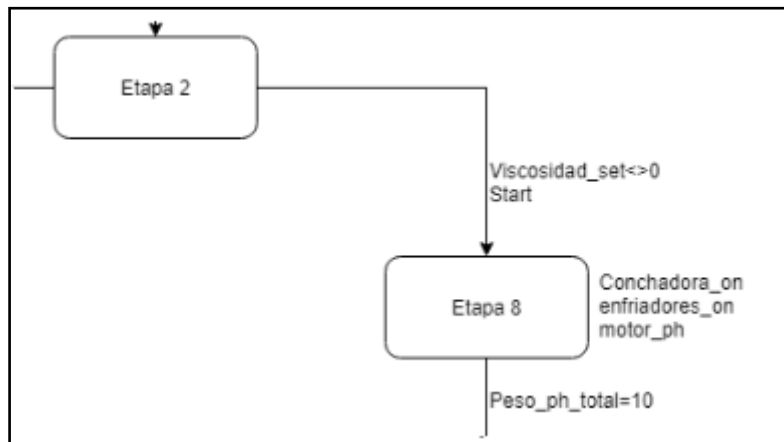
**Figura 2. 13 Transición etapa 5 a 6 y a 7**

En la etapa 7 se procede a abrir la compuerta de los ingredientes para que continúen su proceso de mezclado y se espera hasta que la Viscosidad, ph y humedad sea igual a los valores preestablecidos para así poder reiniciar el proceso continuando a la etapa 1 así como se puede observar en la Figura 2.14



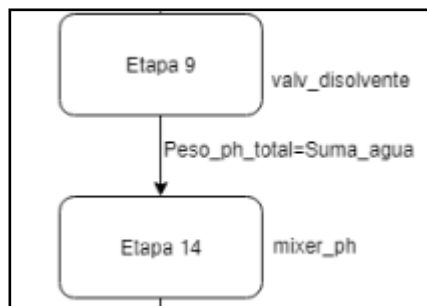
**Figura 2. 14 Transición etapa 11 a 1**

Continuando con el proceso de censado que se realizaba paralelo a la dosificación de ingredientes al estar en la etapa 8 encendía en redundancia el motor de la conchador y los enfriadores de la muestra de ph además de esto también encendía la bomba para la extracción de la muestra de pasta de cacao de la conchadora denominada en la figura 2.15 como motor\_ph y lo mantenía encendido hasta que el peso\_ph\_total que es el peso sea la muestra sea igual a 10 gramos para así poder pasar a la etapa 9



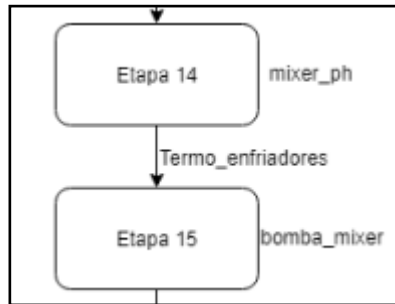
**Figura 2. 15 Transición etapa 2 a 8**

En la etapa 9 se procede a encender la válvula para ingreso del disolvente y se procede a validar que el peso\_ph\_total sea igual al valor preestablecido de la suma entre la muestra mas el disolvente, que en este caso se lo llama Suma\_agua como se observara en la Figura 2.16 para luego proceder a la etapa 14



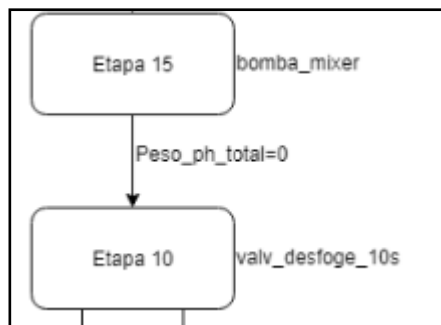
**Figura 2. 16 Transición etapa 9 a 14**

En la etapa 14 continuando con el proceso se en la mezcladora de la pasta de cacao con el disolvente y se mantiene mezclando hasta que reciba la señal del termostato del reservorio de mezclado de muestra indicando que la muestra esta a una temperatura adecuada para su censo que es alrededor de 25 grados centígrados y así proseguir a la etapa 15 tal como se observa en la Figura 2.17



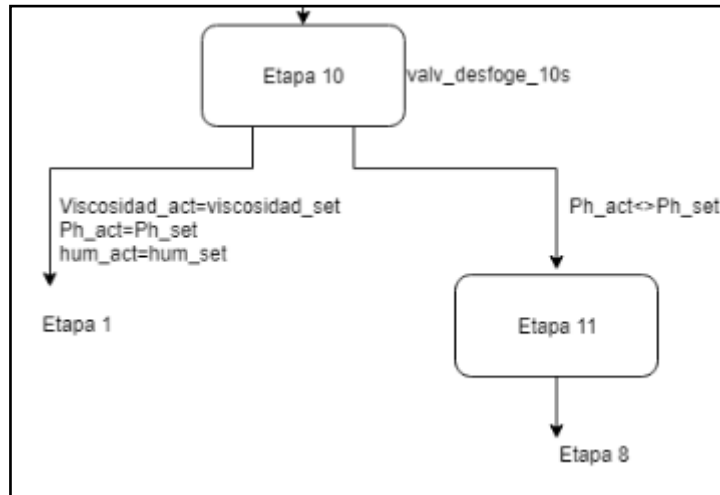
**Figura 2. 17 Transición etapa 14 a 15**

En la etapa 15 se enciende la bomba para el vaciar el tanque de mezclado para llevar la muestra al tanque de censado en este caso la bomba se la denomina bomba\_mixer en la figura 2.18 y se mantiene activada hasta que el peso\_ph\_total sea igual a 0 lo que quiere decir que el tanque esta vacío y así continua a la etapa 10



**Figura 2. 18 Transición etapa 15 a 10**

En la etapa 10 se enciende la válvula de desfogue de la muestra durante 10 segundos y se verifica si la viscosidad, ph y humedad son iguales a las seteadas y si son iguales va a la etapa 1 si es que este no es el caso pasa a la etapa 11 en la que espera 2 horas para tomar la siguiente muestra de ph regresando a la etapa 8 como se observa en la Figura 2.19



**Figura 2. 19 Transición etapa 10 a 1 y etapa 10 a 11 y a 8**



# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la simulación del programa que fue realizado en lenguaje de diagrama de funciones, fue simulado en un PLC y visualizado en una HMI

### 3.1 Simulación de proceso

Después de haber compilado y cargado el programa al PLC y a la HMI se procedió con la simulación, la primera pantalla es la de inicio como se observa en la figura 3.1 en esta se pudo seleccionar ir al proceso, que es donde se observa el proceso general del conchado, ir a selección, que es donde seleccionamos el tipo de chocolate a fabricar, o apagar la HMI para cargar otro programa.



Figura 3. 1 Pantalla de inicio de programa.

Se escogió la opción de “selección” que nos llevó a otra pantalla en donde se puede escoger que chocolate fabricar como se observa en la figura 3.2, sin embargo, antes de seleccionar uno se tuvo que ingresar los parámetros de cada chocolate, para esto en la

parte inferior encontramos cuatro botones el primero nos permite ir a la pantalla inicial, la segunda ir al proceso, la tercera a parámetros y la cuarta ir a la pantalla anterior.



Figura 3. 2 Pantalla de selección de tipo de chocolate

Se ingresó a la opción parámetros esta nos llevó a otra pantalla donde se escoge a que chocolate se le ingresarán los parámetros como se observa en la figura 3.3.



Figura 3. 3 Pantalla de ingreso de parámetros

Se ingresó a “chocolate 1” esta nos llevo a otra pantalla donde se observan los parámetros que debemos ingresar previo al inicio del conchado, como se observa en la figura 3.4, estos son: viscosidad, pH y humedad que debe tener el chocolate al terminar el proceso, además se debe ingresar el peso de cada ingrediente que se le adicionara durante el proceso y el nombre del chocolate a fabricar.

Chocolate 1			
Tipo de Chocolate	<input type="text"/>		
Viscosidad	<input type="text" value="0"/>	Ingrediente1	<input type="text" value="0"/>
Ph	<input type="text" value="0"/>	Ingrediente2	<input type="text" value="0"/>
Humedad	<input type="text" value="0"/>	Ingrediente3	<input type="text" value="0"/>

Figura 3. 4 Pantalla para ingresar parámetros de chocolate 1.

Al darle click en los cuadros en blanco de la pantalla se abrió el teclado de la HMI que nos permitió ingresar los valores correspondientes de los parámetros, una vez que se ingresó los parámetros estos quedan guardados en el programa, hasta que se decida cambiarlos. En la figura 3.5 se observan los parámetros ya ingresados.

Chocolate 1			
Tipo de Chocolate	Chocolate 70% cacao		
Viscosidad	<input type="text" value="11600"/>	Ingrediente1	<input type="text" value="10"/>
Ph	<input type="text" value="6,50"/>	Ingrediente2	<input type="text" value="20"/>
Humedad	<input type="text" value="0,80"/>	Ingrediente3	<input type="text" value="35"/>

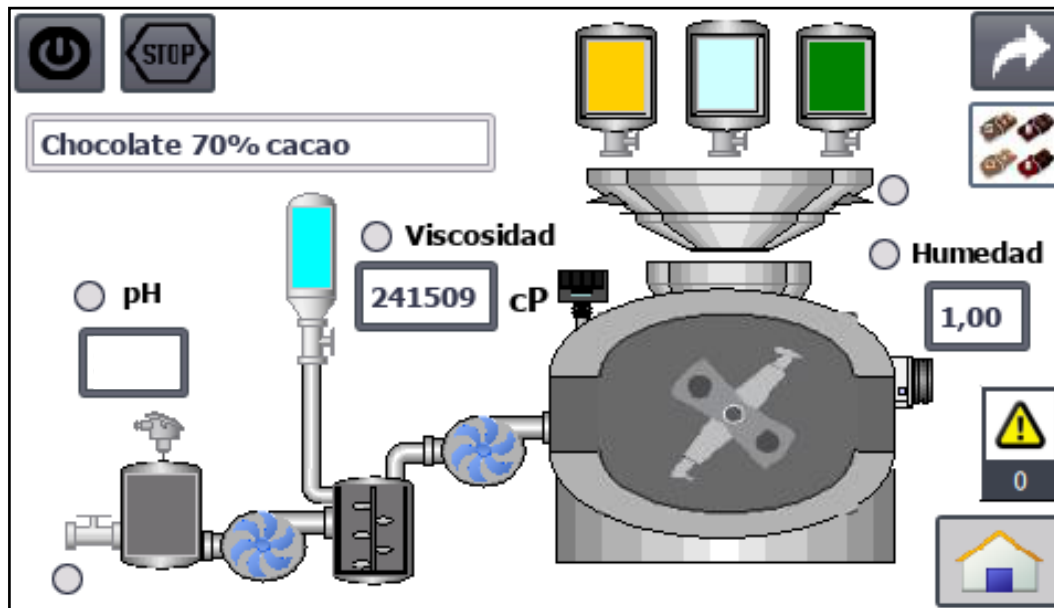
Figura 3. 5 Parámetros de chocolate 1 ingresados

Volvimos a la pantalla de selección y seleccionamos chocolate 1 que fue el que ingresamos los parámetros, al hacer esto automáticamente nos aparecen los parámetros que ingresamos como se observa en la figura 3.6, esto nos indicó que está cargado en el programa y listo para iniciar el proceso.



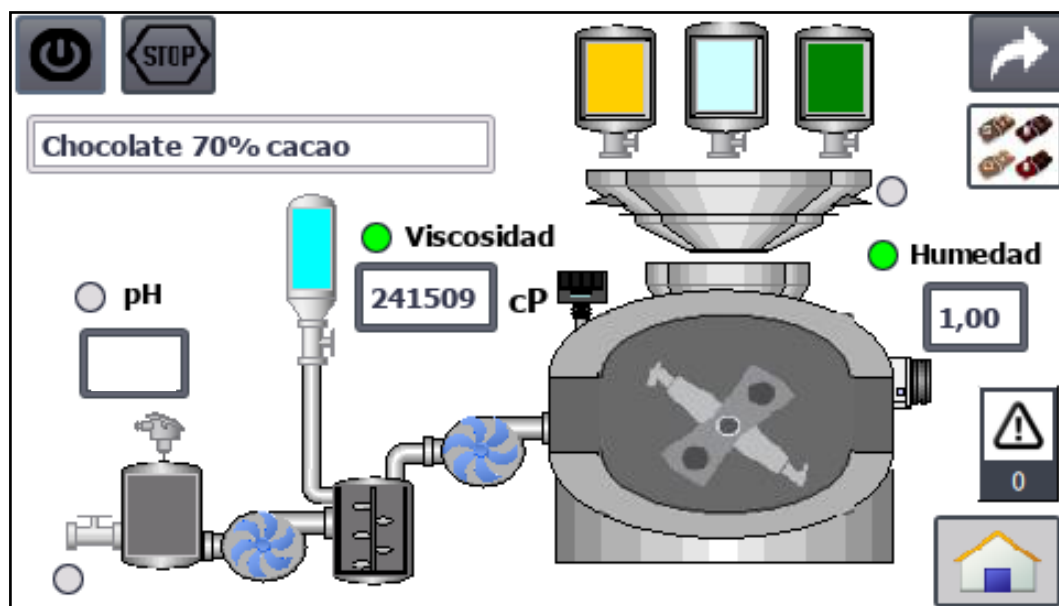
**Figura 3. 6 parámetros cargados en el programa.**

Luego fuimos a la pantalla del proceso donde se nos mostró el proceso y los valores que inicialmente leen los sensores, como se observa en la figura 3.7 se cumple que la viscosidad del chocolate antes de empezar el proceso es alta, en cambio el pH empezó con valores bajos y la humedad viene del proceso anterior con un porcentaje del 1%. Se observó también que en la pantalla del proceso nos aparece el nombre del chocolate que se seleccionó, con esto se tuvo un conocimiento detallado del producto que íbamos a elaborar. En esta pantalla también se pudo observar todo el sistema del proceso: la máquina conchadora, los dosificadores de ingredientes, las bombas de extracción de muestra, reservorios y las electroválvulas.



**Figura 3. 7 Pantalla de proceso con lectura inicial de sensores**

Después de que inicia el proceso comenzó la extracción de muestra para el sensado de pH, a su vez el sensado continuo de viscosidad y humedad, eso se logra ver por el indicador circular arriba de los valores actuales, estos indicadores parpadean, haciéndonos saber así que se está sensando. Esto se muestra en la figura 3.8.



**Figura 3. 8 Indicadores de sensado y extracción de muestra.**

Luego de que la muestra fue extraída y se llegó al peso indicado, que es la tercera parte del 1% de la cantidad de chocolate total que se está procesando, se ingresa el agua destilada, luego se encendió el mixer y los enfriadores como se observa en la figura 3.9 y 3.10.

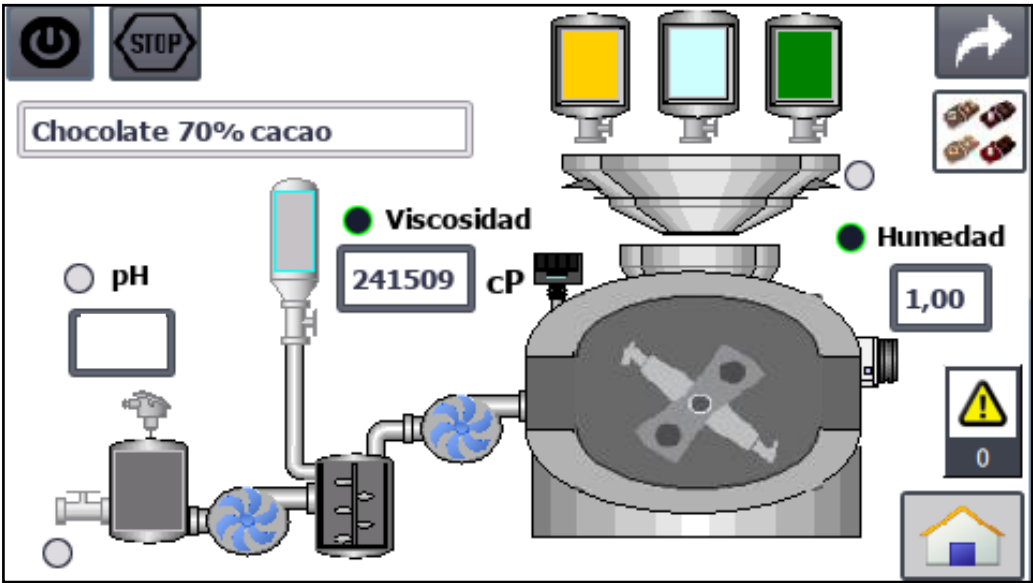


Figura 3. 9 Entrada de agua destilada.

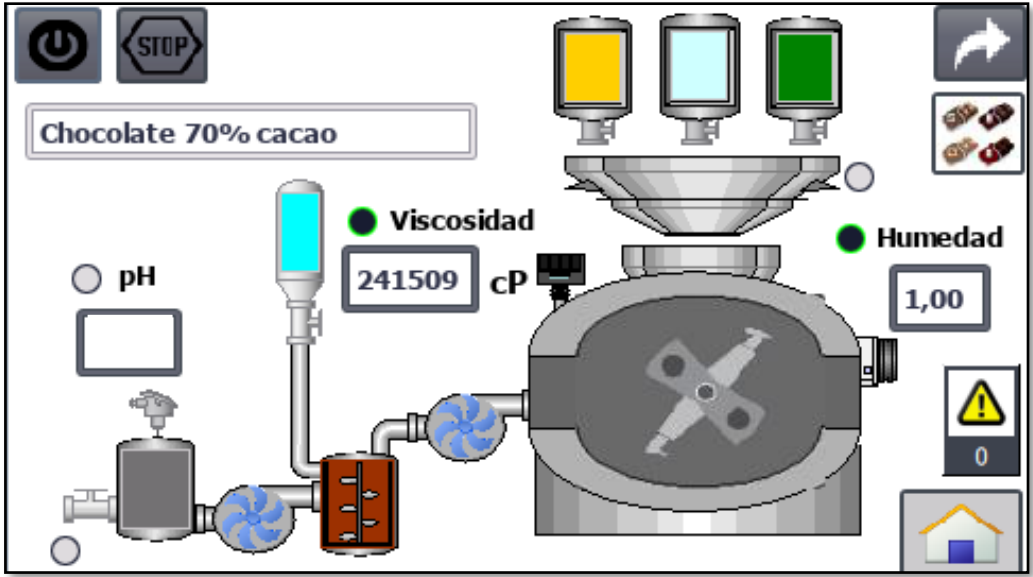
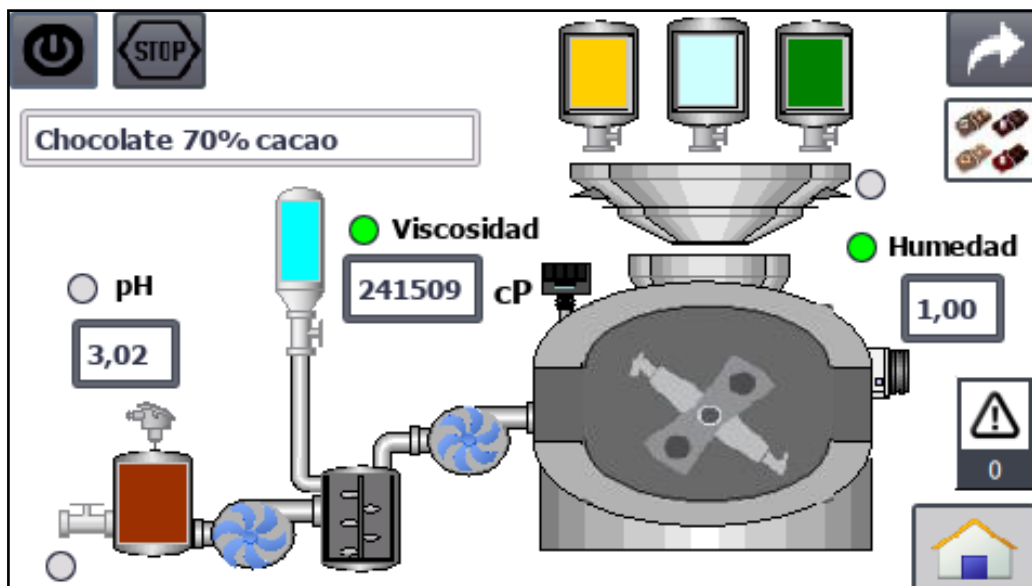


Figura 3. 10 Encendido de mixer y enfriadores.

Como se indicó en el capítulo 2 la muestra debe ser enfriada antes de pasar a sensor el pH, cuando se recibió la señal del presostato, que indicaba que la muestra estaba a la temperatura correcta para ser sensada, se activó la bomba de filtrado el cual paso la muestra por un filtro y luego la llevó al reservorio donde se encontraba el sensor de pH, así mismo el indicador circular parpadeo indicándonos que se está sensando el pH. Esto se muestra en la figura 3.11.



**Figura 3. 11 Sensado de pH.**

Una vez que fue sensado y se mostró el valor de pH se activó la válvula de desfogue, la muestra fue desechada, esto se nos indico por medio del indicador circular junto a la válvula como se muestra en la figura 3.12.

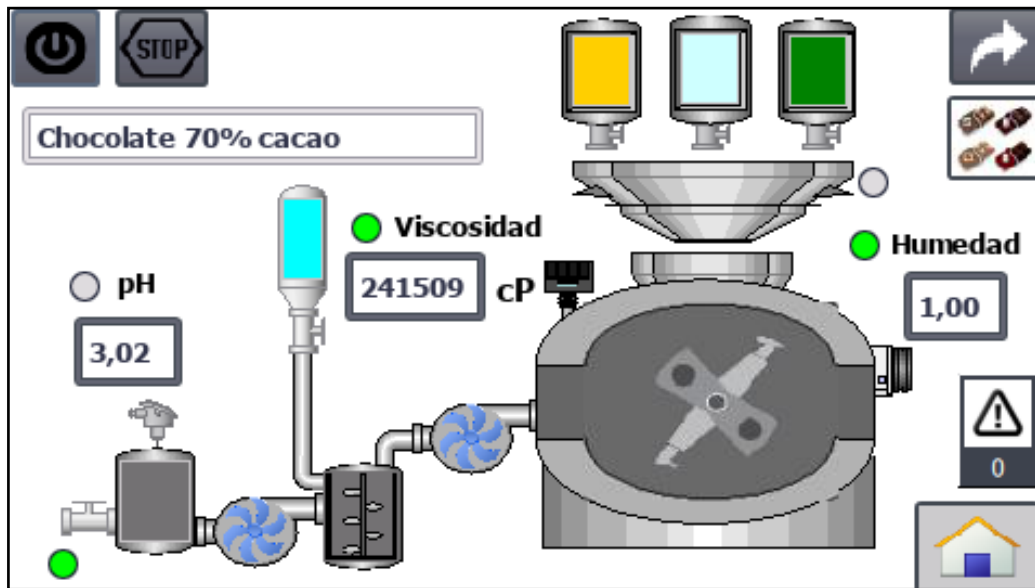


Figura 3. 12 Desfogue de muestra sensada.

Este proceso se repitió cada dos horas, mientras avanzo el proceso la viscosidad fue disminuyendo hasta alcanzar el valor adecuado para poder añadir los ingredientes, cuando esto sucedió, comenzaron a abrirse secuencialmente los dosificadores, el primer ingrediente comenzó a caer en la tolva, como se observa en la figura 3.13 hasta que la bascula detecto que se llegó al peso seteado del ingrediente 1.



Figura 3. 13 Ingreso de ingrediente 1.



De la misma manera ocurrió con los demás ingredientes fueron cayendo en la tolva secuencialmente como se observa en la figura 3.14 y 3.15 hasta que la bascula detecto que llegaron al peso que fue setado más el peso anterior.

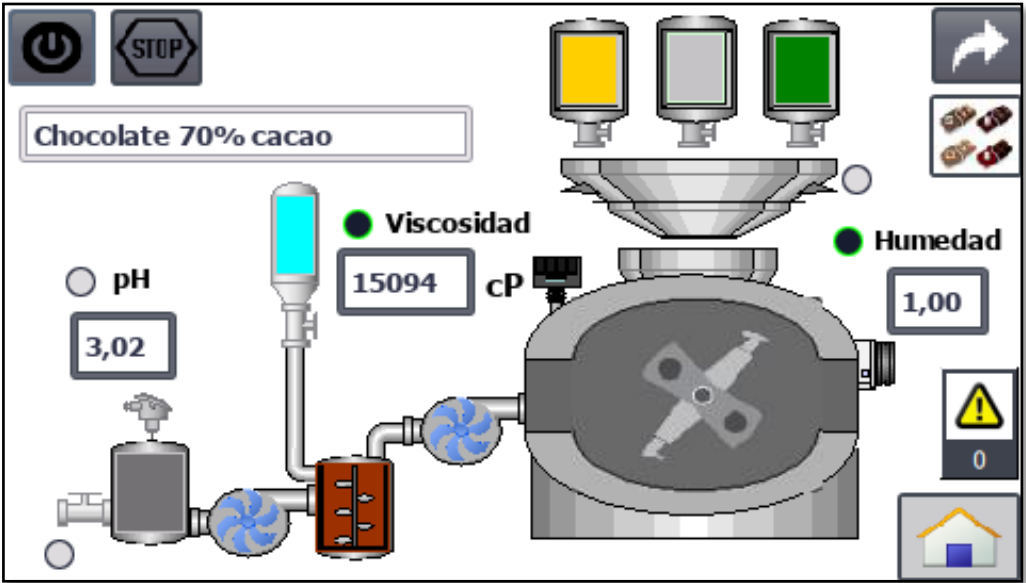


Figura 3. 14 Ingreso de ingrediente 2

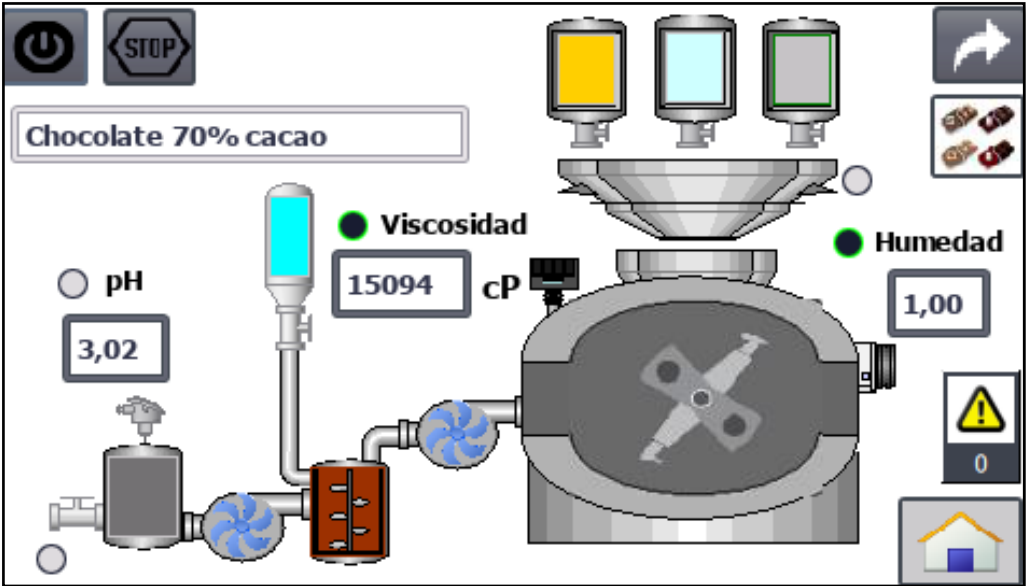


Figura 3. 15 Ingreso de ingrediente 3

Cuando se completaron los tres ingredientes la tolva se abrió, paso los ingredientes por un pequeño tornillo sin fin el cual mezclo los ingredientes y finalmente los dejo caer en la conchadora, esto se pudo apreciar con el indicador circular el cual parpadea cuando la tolva está abierta como se observa en la figura 3.16.

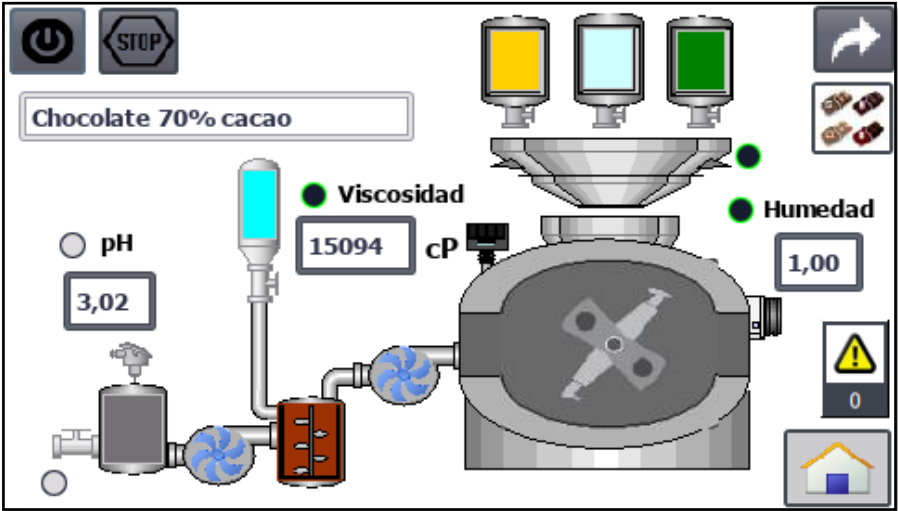


Figura 3. 16 Ingreso de ingredientes a la conchadora.

Mientras fue avanzando el proceso los valores de viscosidad, humedad y pH fueron acercándose a los seteados por el operador, como se muestra en la figura 3.17.

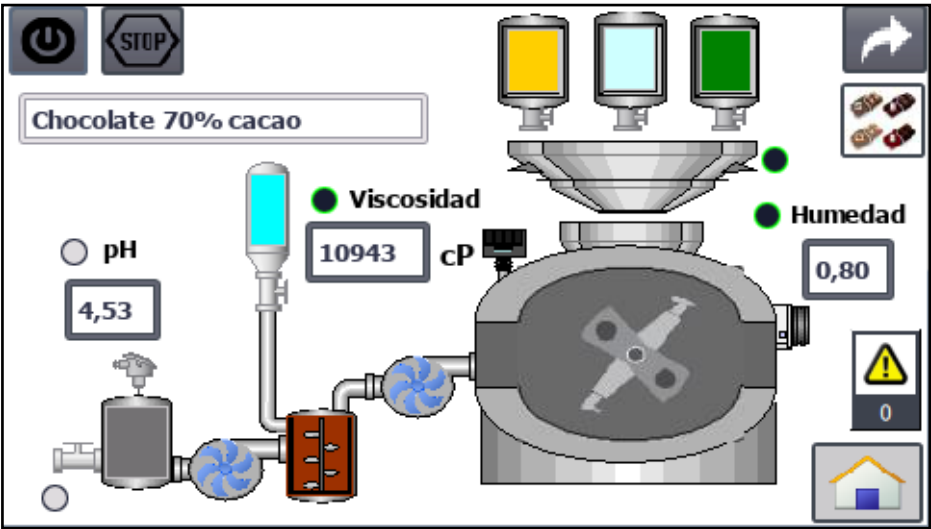


Figura 3. 17 Cambio de valores de parámetros durante el proceso.

Luego de llegar a la fase final los valores llegaron a un rango cercano a los valores seteados, automáticamente la conchadora se detuvo, lo cual nos indico que el proceso había terminado y que el chocolate tenía la calidad indicada. Esto se puede observar en la figura 3.18 donde se puede ver que los parámetros están dentro de un rango cercano a los valores cercanos.

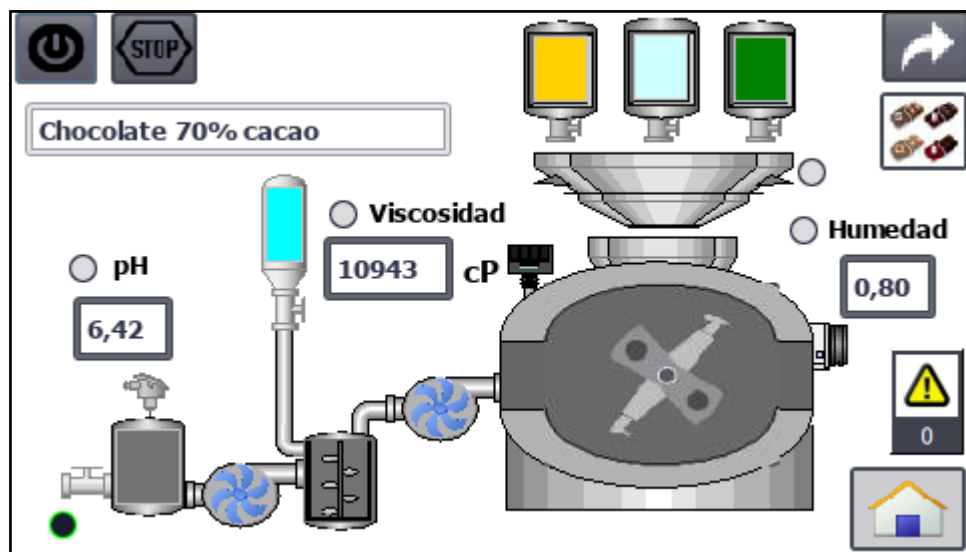


Figura 3. 18 Fin del proceso de conchado.

### 3.2 Análisis de costos

El análisis se hizo en base a la fabricación de chocolate de 70% cacao, se tomo en cuenta el costo de los ingredientes por kilogramo y con esto se pudo obtener el costo de elaborar 500kg, que es la capacidad máxima de la conchadora. En la tabla 3.1 se puede observar estos valores.

**Tabla 3. 1 Costo de fabricación de 500kg de chocolate 70% cacao**

<b>Chocolate 70% Cacao(500kg)</b>			
Ingredientes	Cantidad	Costo por Kg	costo
Nibs de cacao	300 kg	\$2.10	\$630
Manteca de cacao	25 kg	\$12.50	\$312.5
Azúcar	172.5 kg	\$0.90	\$155.25
Lecitina	2.5 kg	\$3.75	\$9.38
Total	500 kg		\$1107.13

Se realizó también la comparación de pérdida de producto por extracción de muestra entre las posibles soluciones planteadas en el capítulo 2, Monitoreo y control manual en un laboratorio o Monitoreo y control automático durante el proceso, en las tablas 3.2 y 3.3 observamos como la solución escogida fue la mejor ya que se tiene menos pérdida de producto al final, ya que el sensado de viscosidad y humedad es continuo no es necesario extraer muestra.

**Tabla 3. 2 Muestra necesaria para el monitoreo de parámetros de forma manual**

<b>Análisis de parámetros físico químicos en laboratorio</b>	
Parámetros	Cantidad de muestra
Viscosidad	1.66 kg
Humedad	1.66 kg
pH	1.66 kg
Total	5 kg

**Tabla 3. 3 Muestra necesaria para el monitoreo de parámetros de forma automática**

<b>Análisis de parámetros físico químicos automático</b>	
Parámetros	Cantidad de muestra
Viscosidad	-
Humedad	-
pH	166 g (x10)
Total	1.66 kg

Una vez se tuvo esto se calculó cual sería nuestra utilidad final al fabricar barras de 250g y venderlas a \$2,50 cada una. En la tabla 3.4 se puede apreciar de que de los 500kg se puede obtener 1980 barras (método manual) y 1994 barras (método automático), al restar de nuestras ganancias el costo de fabricación nos queda que la diferencia entre los métodos es de \$35, sin embargo el método automático nos ofreció otra ventaja, con este método el tiempo de producción disminuye sin perder la calidad del producto debido a que se tuvo un control y monitoreo más preciso durante todo el proceso, con esto se logra duplicar la cantidad de chocolate que se fabrica a la semana, teniendo así el doble de ganancia.

**Tabla 3. 4 Ganancia total de producción: método manual vs automático.**

<b>Ganancia total de producción</b>			
<b>Manual</b>		<b>Automático</b>	
Cantidad final de chocolate	495 kg	Cantidad final de chocolate	498.4 kg
Costo de barra de 250g	\$2,50	Costo de barra de 250g	\$2,50
Cantidad de barras	1980	Cantidad de barras	1994
Costos de producción	\$1107.13	Costos de producción	\$1107.13
Ganancias por ventas	\$4950	Ganancias por ventas	\$4985
Utilidad final	\$3842.87	Utilidad final	\$3877.87

En base al costo de los equipos necesarios para realizar el proyecto se obtuvo que la inversión inicial es de \$15140,61 como se observa en la tabla 3.5 y 3.6 no se incluyó mano de obra.

**Tabla 3. 5 Costos de equipos 1**

<b>Costos de equipos</b>		
Sensor de viscosidad	1	\$5500
Transmisor de viscosidad	1	\$2450
Sensor de pH	1	\$580
Transmisor de pH	1	\$1722
Sensor de humedad	1	\$400
Bomba 3HP	1	\$300
Bomba Lobular	1	\$1054.80
Electroválvulas	5	\$100
Enfriadores	2	\$80
Sistema de pesaje de dosificador por aumento de peso	1	\$704.61
Termostato	1	\$20
Sensores de presencia	3	\$60
<u>Celula</u> de carga	1	\$20

**Tabla 3. 6 Costos de equipos 2**

<b>Costos de equipos</b>		
Termocupla	1	\$50
PLC S71200 DC/DC/DC	1	\$570
Modulo de entradas Analógicas	1	\$350
HMI KTP400	1	\$700
Fuente de 24VDC	1	\$190
<u>SD card</u> Siemens	1	\$210
<u>Reles</u> de 24VDC	10	\$84
Convertidor de 4-20mA a 0-10V	2	\$416
Luces Piloto	11	\$20
Disyuntores	3	\$40
contactores	4	\$100
Total		\$15140.61

Al incluirse la mano de obra se obtiene una inversión inicial de \$20000, en base a esto se calculó la viabilidad económica del proyecto, esto se puede ver en la tabla 3.7, si se logra vender al menos 2000 barras al año, que es 100% del producto procesado, a \$2,50 c/u se recupera la inversión en 6 años, si se vende el 50% del producto procesado se recuperara la inversión en 12 años, cabe recalcar que 2000 barras es el mínimo de producción, es decir un lote por año. Si en el peor de los casos la inversión se recupera en 6 años, el proyecto es viable.

**Tabla 3. 7 Viabilidad económica del proyecto.**

<b>Viabilidad Económica</b>		
	Años	
Inversión	-	\$20000
Utilidad 100%	6	\$22817.22
Utilidad 50%	12	\$22817.22
Utilidad 30%	18	\$20535.50

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La realización de un sistema automatizado para el procesos de conchado de la pasta de cacao previa a la elaboración del chocolate como tal genera ahorro de tiempo en producción tanto como ahorro en energía y mejora de calidad de la pasta de cacao así evitando los problemas típicos de sobre conchado perdiendo así este su sabor exacto pero al realizar la automatización tiene una desventaja de que al ingresar el equipo de control algunos de los operarios actuales de la planta tendrán que ser reubicados y se necesitara capacitar el personal para ser operario del nuevo sistema además de esto se deberá recordar que al ser un proceso nuevo a implementar el coste de equipos y sensores será elevado de igual manera los tiempos de instalación y espera de ciertos equipos no serán inmediatos pero al cambiar el proceso de la conchadora de laboratorio a una industrial se aumento la capacidad de producción y velocidad en esta etapa tan importante en la elaboración del chocolate en un futuro dependiendo del crecimiento de la empresa el sistema es de fácil adaptación para poder incorporar mas conchadoras para que funcionen en paralelo y así poder aumentar la producción así como se revisó en la viabilidad económica el proyecto estimando una venta relativamente baja de 2000 barras al año se recuperara toda la inversión de este proyecto sin considerar el incremento de ventas y reducción del tiempo de producción.

Se debe recordar que la empresa como tal este proceso lo realiza en una conchadora de laboratorio la cual no esta siendo usada de manera de correcta ya que estas conchadoras solo son usadas para el proceso de formulación de una nueva receta y además de esto para las pruebas de viscosidad, humedad y Ph se producían perdidas ya que necesitaban extraer un muestra que no podía ser reciclada y por cada prueba se tendría que sacar una muestra de la misma cantidad que al comparar con el volumen de producción se tenía una perdida significativa mientras al implementar el nuevo sistema automático de conchado el sensado de



viscosidad y humedad se realizo de manera continua sin perdidas que se tenían extrayendo la muestra ya que lo sensores estarán ubicados dentro de los conchadora y solo se obtendrá una sola muestra para realizar la disolución de la pasta de cacao para el proceso de medición y esto implicaría solo una perdida de 1/3 de la pasta de cacao comparado con el proceso de laboratorio

## **Conclusiones**

- Al finalizar el proyecto cabe mencionar que al si se realiza la implementación abra un ahorro tanto en tiempo de producción como en consumo eléctrico así como una mejor eficiencia del proyecto manteniendo y mejorando los estándares de calidad con los cuales ah ido creciendo la empresa así como es de fácil mejora ya que la interfaz es amigable y un operario con ciertas capacitaciones podrá aumentar el numero de recetas ya establecidas en el tablero de control y así poder tener una amplia gama de productos a ofrecer.
- Se pudo observar que estableciendo un margen de ventas relativamente bajo (2000 barras de 250gr de chocolates al año) se recuperaría la inversión en 6 años sin tomar en cuenta la venta de las barras 50gr que son las más apetecidas por el mercado así que el tiempo de recuperación tranquilamente puede ser menor.

## **Recomendaciones**

Se recomienda para realización de este tipo de proyecto el mayor cuidado posible en el dimensionamiento y manipulación de los sensores ya que son los equipos más caros y delicados del proyecto y para su uso recordar el cableado debe ser con cable apantallado para evitar que las señales tengan ruido o interferencias provocadas en la red por los motores de las bombas o conchadora además de esto recordar que todos los sensores necesitan de su transmisor ya que sin estos la señal enviadas por los mismos no esta escalada o si las da escalada al cablearlos al PLC podrían llegar con ruido y usar convertidores de corriente a voltaje recordando que las entradas analógicas nativas del PLC reciben solo señales de voltaje con un rango de 0-10 voltios

Para una mejor realización del proyecto y un ahorro en costos de cableados se recomienda comprar otro tipo de PLC en nuestro caso usamos PLC siemens s7-1200 1214 dc/dc/dc pero con uno de la misma familia como el s7-1200 1214 AC/DC/Relay se ahorrara en compra de fuentes, cableado y relés así como espacio en el tablero de control.

Además, hay que recordar que el tiempo de entrega de ciertos equipos no es inmediato y algunos casos suele demorar hasta 2 meses en llegar a manos del programador.

Al momento de la programación del sistema de almacenamiento de datos tener cuidado con el tiempo de captura de datos ya que nuestra tarjeta SD tiene un máximo numero de escrituras y por un error en esta parte podríamos terminar con la vida útil de la tarjeta en poco tiempo mientras la misma esta diseñada para aproximadamente 20 años.

# BIBLIOGRAFÍA

[1] E. O. Afoakwa, "Industrial chocolate manufacture-processes and factor influencing" en *Chocolate Science and Technology*, 1<sup>st</sup> ed. Chichester, United Kingdom: John Wiley & sons, 2010, pp. 35-57.

[2] W. D. Jácome, "Diseño de una planta de elaboración de chocolate negro y chocolate con leche a partir de licor de cacao," Tesis de Pregrado, Facultad de Ing. Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015.

[3] A. Schumacher, A. Brandelli, E. Wulf, F. Carrion, L. Pieta, K. Venzke, E. Vogt, "Development and evaluation of a laboratory scale conch for chocolate production," *IJFST*, vol. 44, pp. 616-622, 2009.

[4] F. Albak, A. R. Tekin, "Development of functional chocolate with spices and lemon peel powder by using response surface method: Development of functional chocolate," *AFJ*, vol. 12, no. 2, pp. 19-25, 2014.

[5] Y. Rodríguez, "Viscosidad de los líquidos," Tesis de Pregrado, Facultad de Ing. Química, Univ. Nacional San Luis Gonzaga, Ica, Perú, 2010

[6] AOAC, "Cocoa beans and its products", Official methods of analysis of the association of analytical chemists, 18va ed, Ailington, United States of America: AOAC International, 2005.

[7] Mark W. Earley, Jeffrey F. Sargent, Christopher D. Coache, Richard J. Roux, *National Electrical Code handbook*, 12va ed, Quincy, Massachusetts, United States of America: 2011.

[8] Siemens (2017, Junio 8) CPU 1214 DC/DC/DC Technical Data [Online] Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/255094?pdtd=td&dl=en&lc=en-WW>

[9] Siemens (2018, Junio 8) SIMATIC HMI KTP400 Technical Data [Online] Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/379924?pdtd=td&dl=en&lc=en-WW>

[10] Siemens (2018, Junio 8) ANALOG INPUT SM1231, 4AI Technical Data [Online] Disponible en:

<https://support.industry.siemens.com/cs/pd/422574?pdtd=td&dl=en&lc=en-WW>

[13]

[14] Hydramotion (2018, Junio 25) XL7 IN LINE VISCOMETER Technical Data [Online]

Disponible en:

<https://hydramotion.com/en/products/xl7/specification>

[15] Hydronix (2018, Julio 14) HYDRO-PROBE SE user guide [Online] Disponible en:

[https://www.hydronix.com/es/productos/hydroprobe\\_se.php](https://www.hydronix.com/es/productos/hydroprobe_se.php)

[16]

[17] Endress and Hauser (2018, Julio 20) UNIFIT CP442 Technical information [Online]

Disponible en:

<https://www.endress.com/en/Field-instruments-overview/liquid-analysis-product-overview/pH-fixed-assembly-CPA442?highlight=pH%20Unifit>

[18] Endress and Hauser (2018, Julio 20) LIQUILINE CM44X Technical information [Online]

Disponible en:

<https://www.endress.com/en/Field-instruments-overview/liquid-analysis-product-overview/multiparameter-transmitter-cm44p?highlight=Liquiline%20CM44>

[19] Inoxpa (2018, Julio 25) SLR ROTATORY LOBE PUMP Technical data [Online]

Disponible en:

<http://www.inoxpa.com/products/product/rotary-lobe-pump-slr>

# ANEXOS

# ANEXO A1

## Bomba Lobular

**Bomba Lobular Rotativa**
SLR

**I Especificaciones técnicas**

*Límites de operación:*

Caudal máximo	160 m <sup>3</sup> /h	
Presión diferencial máxima	12 bar	705 US GPM
Presión máxima trabajo	16 bar	174 PSI
Temperatura máxima trabajo (EPDM)	-10 °C a +120 °C	232 PSI
Temperatura SIP, máx. 30 min	+140 °C	14 °F a 248 °F
Velocidad máxima	950 rpm	284 °F



Bomba	Volumen a 100 rev. [l]	Caudal máximo [m <sup>3</sup> /h]	Presión máxima [bar]	Velocidad máxima [rpm]
SLR 0-10	1,03	0,6	12	950
SLR 0-20	2,1	1,2	12	950
SLR 0-25	3	1,7	7	950
SLR 1-25	10	5,7	12	950
SLR 1-40	13,9	7,9	7	950
SLR 2-40	23,4	13,3	12	950
SLR 2-50	30,1	17,1	7	950
SLR 3-50	67,7	29,3	12	720
SLR 3-80	95,3	41,2	7	720
SLR 4-100	217,2	52,1	8	400
SLR 4-150	321,2	77,2	5	400
SLR 5-125	554,7	133,1	8	400
SLR 5-150	662,2	158,9	5	400

**Figura Anexos A1. 1 Datos técnicos de bomba lobular**

Esta bomba es diseñada especialmente para sustancias de alta viscosidad, esta nos permitió poder extraer la muestra de chocolate y llevarla hacia la etapa de sensado de pH sin tener estancamiento por la viscosidad del mismo.

## Sensor de Viscosidad

XL7 SPECIFICATION		
PERFORMANCE	Range	From 0 – 1cP to 0 – 10 <sup>9</sup> cP over 10 models
	Measurement Time	1 second
	Accuracy	1% of reading or +/- 1 digit
	Repeatability	0.3% of reading or +/- 1 digit
TEMPERATURE	Standard Range	-50 °C to 150 °C
	HT Range	-50 °C to 400 °C
	Extended Range	Temperature greater than 150 / 400 °C to order*
PRESSURE	Standard Range	To process fitting
	Extended Range	To order for extreme pressure *
PROCESS CONNECTION	Standard fitting	Any process fitting – all flanges, threads, clamps, hygienic
	Special fitting	Non-standard process connection to order *
ELECTRICAL CONNECTION	Cable Length	As required – not affected by cable length up to 1000m
	Cable Type	Any standard instrument cable
	Power	VP Processor powered
SAFETY CERTIFICATION	Hazardous Area	All instruments available for Ex Hazardous Area, explosive atmospheres Ge Ex ia IIC T1...T6
CONSTRUCTION	All welded, crevice-free	
MATERIALS	Head	SS316 ( EN 1.4401)
	Fitting	As Required
	Sensor	SS316 ( EN 1.4401) and SS316L ( EN 1.4404) as standard
	Sensor/Fitting Options	Alloy C22 (EN 2.4602)
		Alloy C276 (EN 2.4819)
S32750 Duplex Steel (EN 1.4410)		
Special Materials:	Non-standard materials to order *	
SURFACE FINISH	Standard	N6 0.8 Ra
	Finish Options	Fluoropolymer
		Electropolished
		Electroplated
Special Finish	Non-standard finish options and coatings to order *	
INGRESS PROTECTION	Standard	IP67
SOFTWARE	ViscoLink data viewing and logging PC software	

**Figura Anexos A1. 2 Hoja técnica de sensor de viscosidad**

La principal característica por la que se selecciono este tipo de sensor de viscosidad fue que este lo hacia midiendo las vibraciones ya que el mismo envía ondas hacia el fluido y captaba la resonancia para así tener el valor actual de viscosidad ya que en los sensores tradicionales se requiere de una muestra para poder ser analizada y de igual manera cumplía con los rangos de temperatura a usarse en la planta teniendo un límite de hasta 150°C

## Sensor de Humedad



**Figura Anexos A1. 3 Hoja técnica de sensor de humedad**

El principal motivo de selección de este sensor se realizó porque el método de medición utilizado es por microondas recordando que esta es la manera más eficaz de medición de humedad y dicho sensor puede aguantar hasta temperaturas de 125°C ya que la conchadora en operación normal alcanzara aproximadamente 60°C que hasta su parte electrónica la resiste



## Sensor de pH

### Sensor

pH	
Measuring Principle	Sensor ORP / Redox
Application	Process, food, pharmaceuticals
Installation	Fixed installation assembly
Characteristic	Open and closed tank, piping.
Design	- Hygienic assembly with corresponding process connections - 120 mm electrodes - optional with protection guard - optional with leakage control
Material	Holder: stainless steel sealing : different materials available (FDA conform)
Dimension	10 - 86 mm (0.39 - 3.47 inch)
Process temperature	max. 140°C (284°F)
Process pressure	max. 10 bar (145 psi)
Connection	DN25 thread adapter nut, Triclamp, Varivent, APV, dairy fitting DN50, Neumo BiControl.
Additional Certifications	- Material certification 3.1.B EN 10204- 3A / EHEDG (steam sterilisability + cleanability)- Surface roughness Ra<0,8 (0,4).

### Figura Anexos A1. 4 Hoja técnica de sensor de pH

El sensor de Ph seleccionado para este proceso es uno especializado para la industria farmacéutica y alimenticia que tiene como rango máximo que soporta de temperatura es hasta 150°C cabe recalcar que la muestra a ser analizada fue disuelta con agua destilada y enfriada a temperatura ambiente

## Transmisor

pH	
Measuring Principle	UV photometric
Application	Modular 4 wire controller Multichannel: 1-2 digital channels for Memosens protocol Multiparameter: pH, redox, ISFET, conductivity inductive and conductive, dissolved oxygen, nitrate and turbidity Two sensors connectable in any combination Functionality modular extendable at any time Plug and play for modules and sensors
Characteristic	Robust plastic housing All non-ex applications
Design	2x Memosens input 2...4x current output alarmrelay 2x relay SD card for software update and copy & paste of setup
Material	Plastic (polycarbonate)
Dimension	237 (9.33) x 194 (7.64) x 162 (6.38) mm (inch)
Process temperature	-20...60°C / 0...140°F
Ingres protection	IP67
Input	1...2x Memosens digital input 2x 0/4...20mA Input optional 2x Digital input optional
Output	2...4x 0/4...20 mA current outputs alarmrelay 2x relay ProfibusDP Modbus RS485 Modbus TCP Ethernet

**Figura Anexos A1. 5 Hoja técnica de transmisor de pH**

Este transmisor es usado no solo para adecuar la señal para ser transmitida, sino que también para filtrarla y así evitar que se mezcle con el ruido además tiene un slot para tarjeta Sd en el cual se pueden almacenar datos de Ph

## ANEXO A2

### Tablas del NEC

Horsepower	Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes)							Synchronous-Type Unity Power Factor* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1½	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

Figura Anexos A2. 1 Amperaje según la potencia de trabajo.

Size AWC or kcmil	Temperature Rating of Conductor [See Table 310.104(A).]						Size AWC or kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW- 2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

Figura Anexos A2. 2 Calibre del conductor según el amperaje.

## ANEXO A3



**Figura Anexos A3. 1 Panel de control con luces piloto y HMI**

Se desarrolló el panel de control del proyecto, se colocaron luces piloto que indican en qué proceso se encuentra, además se colocó la HMI en donde se pudo monitorear el proceso y los parámetros sensados. Interiormente se encuentra el PLC y 10 relays de control, como se observa en la figura Anexos A3.2, estos se activan con la señal de salida que le envía el PLC.



**Figura Anexos A3. 2 Conexiones internas de tablero de control.**