

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Automatización y Optimización de una  
Máquina Fundidora de Chocolate**

Hugo Leonardo Tapia Alvarado

César Zambrano, Ph. D., Director de Tesis

Tesis de Grado Preparada como Requisito para la Obtención  
del Título de Ingeniero Mecánico

Quito, Diciembre 2012

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Automatización y Optimización de una Máquina Fundidora de Chocolate**

**Hugo Leonardo Tapia Alvarado**

César Zambrano, Ph. D.  
Director de Tesis

.....

Ing. Bernard Herrera  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ing. Nelson Herrera  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Gustavo Muñoz, Ph. D.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Alfredo Valarezo, Ph. D.  
Coordinador del Departamento Ingeniería Mecánica

.....

Ximena M. Córdova, Ph. D.  
Decana del Colegio de Ciencias e Ingeniería

.....

Quito, Diciembre 2012

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

-----

Nombre: Hugo Leonardo Tapia Alvarado

C. I.: 1104178106

Fecha: 12 de Diciembre del 2012

## Resumen

El presente proyecto consistió en la automatización de una máquina fundidora de chocolate. Inicialmente se llevó a cabo la fase de manufactura, la cual involucró entre otros, conocimientos de electrónica para poder realizar el programa del sistema de control para la automatización. Finalmente, en la fase de optimización se vinculó el área de alimentos, ya que fue de suma importancia verificar que el chocolate no pierda sus propiedades en cada etapa de la fundición.

El objetivo principal de este proyecto es lograr, mediante la automatización en una máquina, reemplazar la técnica de “baño maría” realizada artesanalmente por los productores de chocolate. Luego de lograr la automatización, se procedió a la optimización de la máquina realizando pruebas de continuo funcionamiento que permitan calibrar la máquina. Finalmente, para comprobar que se cumplió con los requerimientos, se realizaron análisis de viscosidad comparando chocolate fundido en la máquina y sin fundir, luego de lo cual se puede afirmar que la máquina se encuentra efectivamente trabajando bajo los parámetros adecuados y que el chocolate fundido no pierde sus propiedades.

## **Abstract**

The present project deals with automation of a chocolate smelter machine. At first, the manufacturing phase took place, which, among others, involved knowledge of electronics to develop the control system program for the automation. Finally came the optimization phase including the food engineering area, as it was very important to verify that the chocolate does not lose its properties at each phase of the melting.

The main goal of this project is to achieve, through automation in a machine, the replacement of the "water bath" technique handmade by chocolate producers. After achieving the automation, the optimization of the smelter machine was developed, by calibrating after a continuous operation of the machine. Finally, to verify that the requirements were satisfied, viscosity analysis were performed comparing chocolate molten in the machine, with chocolate that hadn't passed through the machine, after which it can be said that the machine is indeed working under the appropriate parameters and that the molten chocolate does not lose its properties.

## Tabla de Contenidos:

<b>1.</b>	<b>CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1.	CACAO EN ECUADOR .....	2
1.1.1.	ECUADOR PAÍS CACAOTERO.....	2
1.1.2.	IMPORTANCIA DEL CACAO.....	2
1.1.3.	PRODUCCIÓN DE CACAO DURANTE EL PRIMER SEMESTRE 2012.....	2
1.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.3.	ALCANCE .....	5
1.4.	OBJETIVO GENERAL .....	5
1.5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.6.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO: AUTOMATIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA MÁQUINA FUNDIDORA DE CHOCOLATE .....	6
<b>2.</b>	<b>CAPITULO II.- MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
2.1.	PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CHOCOLATE A FUNDIR .....	9
2.1.1.	PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CHOCOLATE A FUNDIR.....	9
2.1.2.	¿QUÉ TIPO DE FLUIDO ES EL CHOCOLATE?.....	10
2.1.3.	¿CUÁL ES LA TEMPERATURA DE FUNDICIÓN DEL CHOCOLATE? .....	10
2.2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	13
2.2.1.	AUTOMATIZACIÓN .....	13
2.2.2.	OPTIMIZACIÓN .....	13
2.3.	SIMULACIÓN POR COMPUTADORA.....	13
2.3.1.	CADE SIMU .....	14
2.3.2.	LOGO SOFT COMFORT.....	14
2.4.	PRUEBA DE TENSIÓN A LA FLUENCIA DE UN FLUIDO EMPLEANDO UN REÓMETRO .....	15
<b>3.</b>	<b>CAPITULO III.- ANTECEDENTES</b> .....	<b>17</b>
3.1.	ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA MÁQUINA .....	18
3.2.	PRE-DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	19
3.3.	MÁQUINA FUNDIDORA DE CHOCOLATE A AUTOMATIZAR .....	21
3.3.1.	COMPONENTES ELÉCTRICOS INSTALADOS EN LA MÁQUINA FUNDIDORA DE CHOCOLATE .....	22
<b>4.</b>	<b>CAPITULO IV.- PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN</b> .....	<b>24</b>

<b>5.</b>	<b>CAPITULO V.- OPTIMIZACIÓN DEL PROGRAMA CREADO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA FUNDIDORA DE CHOCOLATE .....</b>	<b>57</b>
5.1.	SIMULACIÓN DEL PROGRAMA.....	58
5.2.	PRUEBAS DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	68
5.3.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA .....	72
5.4.	PRUEBAS DEL PRODUCTO .....	89
5.4.1.	DESARROLLO Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL PRODUCTO .....	91
<b>6.</b>	<b>CAPITULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>99</b>
6.1.	CONCLUSIONES .....	100
6.2.	RECOMENDACIONES .....	102
<b>7.</b>	<b>CAPITULO VII.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>103</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>
	ANEXO A - DIAGRAMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL.....	108
	ANEXO B - DATOS DE PRUEBAS Y OPTIMIZACIÓN.....	113
	ANEXO C- INFORME DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE PRODUCTO .....	125

## Lista de Figuras:

Figura 1.- Exportaciones de enero a noviembre del 2012: Cacao en grano y semielaborados expresados en Tm. ....	3
Figura 2.- Principales países de destino de las exportaciones de cacao en grano durante el 2012 medido en TM.....	3
Figura 3.- Principales países de destino de las exportaciones de cacao en semielaborado durante el 2012 medido en TM.....	4
Figura 4.- Componentes básicos de un reómetro para la medición de la viscosidad .....	16
Figura 5.- Pre-diseño del sistema de control de la temperatura del agua y del chocolate.....	19
Figura 6.- Pre-diseño de las conexiones del sistema de control de la máquina que cuenta con sistema de respaldo (dos bombas y dos resistencias) .....	20
Figura 7.- Simulación de la máquina con sus componentes en diferentes perspectivas (1); componentes internos (2).....	21
Figura 8.- Distribución de los componentes eléctricos en el panel de control.....	23
Figura 9.- Representación del sistema eléctrico – Paso 1: Con el interruptor en posición OFF (1), no hay paso de corriente eléctrica a los componentes y equipos de la máquina .....	26
Figura 10.- Representación del sistema eléctrico – Paso 2: Interruptor en modo ON (1). Distribución de la fase neutra hacia los contactores (2) y componentes eléctricos (3).....	27
Figura 11.- Representación del sistema eléctrico – Paso 3: Accionamiento del breaker general (1). Corriente eléctrica llega a los breakers de equipos (2) y a los componentes eléctricos (3) .....	28
Figura 12.- Representación del sistema eléctrico – Paso 4: Activan breakers de quipos (1). Corriente eléctrica llega a contactores (2). .....	29
Figura 13.- Representación del sistema eléctrico – Paso 5: LOGO (1) envía señal a los contactores (2).....	30
Figura 14.- Representación del sistema eléctrico – Paso 6: Contactores activados (1). Se enciende bomba de agua (2), resistencia (3) y luz verde (4) .....	31
Figura 15.- Representación del sistema eléctrico – Paso 7: Acciona contactor (1). Se enciende variador (2) y luz roja (3) .....	32
Figura 16.- Representación del sistema eléctrico – Paso 8: Activa pulsador de emergencia (1). Desactivan contactores (2). Se apagan equipos (3) y componentes (4).....	33
Figura 17.- Ejemplo de aplicación tipo Entrada – Digital – Constantes/Conectores .....	35
Figura 18.- Ejemplo de aplicación tipo Salida – Digital – Constantes/Conectores .....	35
Figura 19.- Ejemplo de aplicación tipo Marca – Digital – Constantes/Conectores .....	36
Figura 20.- Ejemplo de aplicación tipo Tecla de Cursor – Digital – Constantes/Conectores .....	37
Figura 21.- Ejemplo de aplicación tipo Tecla de Logo – Digital – Constantes/Conectores .....	37
Figura 22.- Ejemplo de aplicación tipo Entrada Analógica – Analógicas – Constantes/Conectores.....	38
Figura 23.- Ejemplo de aplicación tipo Marca Analógica – Analógicas – Constantes/Conectores .....	39
Figura 24.- Ejemplo de aplicación tipo AND – Funciones Básicas.....	39
Figura 25.- Ejemplo de aplicación tipo OR – Funciones Básicas.....	40

Figura 26.- Ejemplo de aplicación tipo XOR – Funciones Básicas .....	40
Figura 27.- Ejemplo de aplicación tipo NOT – Funciones Básicas .....	41
Figura 28.- Ejemplo de aplicación tipo Retardo a la Desconexión – Temporizadores – Funciones Especiales .....	42
Figura 29.- Ejemplo de aplicación tipo Generador de Impulsos Asíncrono – Temporizadores – Funciones Especiales .....	43
Figura 30.- Ejemplo de aplicación tipo Contador Adelante/Atrás – Contadores – Funciones Especiales.....	44
Figura 31.- Ejemplo de aplicación tipo Comparador Analógico – Analógicos – Funciones Especiales .....	45
Figura 32.- Ejemplo de aplicación tipo Instrucción Aritmética – Analógicos – Funciones Especiales.....	46
Figura 33.- Ejemplo de aplicación tipo Relé Auto enclavador – Otros – Funciones Especiales .....	47
Figura 34.- Ejemplo de aplicación tipo Texto de Aviso – Otros – Funciones Especiales .....	48
Figura 35.- Ajuste de Pantalla Inicial del LOGO .....	49
Figura 36.- Programa final de la máquina realizado en el software LOGO SoftComfort.....	52
Figura 37.- Selección de simulación en Barra de Herramientas (1). Dar inicio de simulación (2). Ventana de simulación (3) en el programa en LOGO SoftComfort .....	53
Figura 38.- Selección del modo de operación en la simulación del programa, al presionar el respectivo interruptor para cada simulación F1 (1), F2+F3 (2) o F4 (3).....	54
Figura 39.- Selección de la función F1 (1) en la simulación del programa. Texto de aviso (2). Luz indicadora de funcionamiento (3).....	55
Figura 40.- Selección de la función F2 y F3 (1) en la simulación del programa. Ventana de texto de aviso (2), Luz indicadora de funcionamiento (3).....	56
Figura 41.- Selección de la función F1 en la simulación para pruebas.....	58
Figura 42.- Señal emitida por el sensor de temperatura de agua, inicia contador para apagar la resistencia en la función F1 al llegar a la temperatura asignada – 1.....	59
Figura 43.- Señal emitida por el sensor de temperatura de agua, inicia contador para apagar la resistencia en la función F1 al llegar a la temperatura dada – 2 .....	60
Figura 44.- Resistencia se apaga luego de que transcurran 5 segundos en el contador .....	61
Figura 45.- Señal emitida inicia contador para apagar el variador en la función F1 al abrir la tapa – 1 .....	62
Figura 46.- Señal emitida inicia contador para apagar el variador en la función F1 al abrir la tapa – 2.....	62
Figura 47.- Variador se apaga luego de que transcurran 5 segundos en el contador .....	63
Figura 48.- Se inicia contador como respuesta al presionar el Pulsador OFF en la función F1 – 1.....	64
Figura 49.- Luego de 5 segundos en el contador se apagan los componentes al presionar el Pulsador OFF en la función F1 – 2.....	65
Figura 50.- Se inicia contador como respuesta al presionar el Pulsador de Emergencia en la función F1 – 1 .....	66
Figura 51.- Conexión PC – LOGO para descargar el programa .....	67
Figura 52.- Mensaje que indica una correcta descarga del programa PC a LOGO .....	68
Figura 53.- Cantidad inicial de chocolate fundido 5 kg.....	70

Figura 54.- Gotas de chocolate dulce que se adicionaron, 10 kg (1), Colocando el chocolate (2), Chocolate en el cilindro (3) .....	71
Figura 55.- F2+F3: Temperatura a los 2 minutos de iniciar la prueba.....	72
Figura 56.- F1: Temperaturas del agua y del chocolate a las 12:33.....	72
Figura 57.- F4: Temperaturas del agua y del chocolate a las 15:14.....	73
Figura 58.- Chocolate solidificado en el fondo (1), muestra de chocolate solidificado (2) .....	73
Figura 59.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba N° 1.....	74
Figura 60.- Chocolate fundido tomado del cilindro.....	75
Figura 61.- Chocolate fundido tomado del sistema de agitación.....	76
Figura 62.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 1 .....	77
Figura 63.- Muestra de chocolate fundido en prueba N°2 .....	78
Figura 64.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 2 .....	78
Figura 65.- Muestra del chocolate fundido tomado con una paleta en la prueba y calibración N°3.....	79
Figura 66.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 3 .....	79
Figura 67.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 4 .....	80
Figura 68.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 5 .....	81
Figura 69.- Temperaturas indicadas en modo de operación manual, F2+F3 .....	82
Figura 70.- A las 18:24 solo el motor funcionando en operación F1.....	83
Figura 71.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 6 .....	83
Figura 72.- Motor, bomba y resistencia funcionando a las 20:47.....	85
Figura 73.- Grafico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 7 .....	85
Figura 74.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 8 .....	86
Figura 75.- Bomba y Resistencia funcionando a las 2:48.....	87
Figura 76.- Resultados de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 9.....	88
Figura 77.- Resultados de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 10.....	89
Figura 78.- Ajuste de parámetros para el modo automático en Test del programa Rheocalc .....	90
Figura 79.- Prueba 1 – Curva de la viscosidad del chocolate de la máquina fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada.....	92
Figura 80.- Prueba 3 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada.....	93
Figura 81.- Prueba 3 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante una temperatura asignada y una velocidad variable .....	93
Figura 82.- Prueba 3.1 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada.....	94
Figura 83.- Prueba 3.1 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante una temperatura asignada y una velocidad variable .....	95

Figura 84.- Prueba 3.2 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada.....	96
Figura 85.- Prueba 3.2 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante una temperatura asignada y una velocidad variable .....	96
Figura 86.- Prueba 3.3 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada.....	97
Figura 87.- Prueba 3.3 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante una temperatura asignada y una velocidad variable .....	98
Figura 88.- Comparación de la viscosidad del chocolate a 40°C, antes y después de que el chocolate haya sido fundido a 50°C.....	101

## Tablas de Datos:

Tabla 1.- Análisis del control de temperatura en el proceso de “baño maría” realizado en la producción artesanal de chocolate .....	6
Tabla 2.- Análisis del mecanismo de agitación en el proceso de “baño maría” realizado en la producción artesanal de chocolate .....	7
Tabla 3.- Componentes principales y su porcentaje necesario para realizar el chocolate.....	9
Tabla 4.- Formas Polimórficas de grasas en general. ....	10
Tabla 5.- Precauciones a considerar durante el proceso de manipulación con el chocolate de cobertura.....	11
Tabla 6.- Temperaturas de fundición para los diferentes tipos de chocolate de cobertura .....	11
Tabla 7.- Temperaturas para el proceso de templado del chocolate dependiendo del tipo de chocolate .....	12
Tabla 8.- Análisis de los requerimientos para el diseño del sistema de control de la máquina proporcionados.....	18
Tabla 9.- Equipos y componentes eléctricos instalados en la máquina fundidora de chocolate .....	22
Tabla 10.- Funciones de la programación que constan en la máquina para su operación.....	50
Tabla 11.- Detalles de la calibración para cada función de la automatización .....	69
Tabla 12.- Condiciones de trabajo con las que se realizaron las pruebas .....	70
Tabla 13.- Equivalencia de Unidades entre el sistema CGS y SI .....	90
Tabla 15.- Datos recolectados de la pruebas con chocolate del Cyril.....	114
Tabla 16.- Datos recolectados de la prueba y calibración de la máquina N° 1 .....	115
Tabla 17.- Datos recolectados de la pruebas y calibración de la máquina N° 2 .....	116
Tabla 18.- Datos recolectados de la pruebas y calibración de la máquina N° 3 .....	117
Tabla 19.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 4.....	117
Tabla 20.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 5.....	118
Tabla 21.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 6.....	119
Tabla 22.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 7.....	120
Tabla 23.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 8.....	121
Tabla 24.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 9.....	122
Tabla 25.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 10.....	124

## Índice de Abreviaciones y Términos

- Brookfield DV-III Ultra – Reómetro: instrumento de laboratorio que se emplea para medir la forma en que fluye un líquido.
- CadeSimu: programa CAD electrotécnico
- CA – Corriente Alterna: Corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varían
- CC – Corriente Continua: la tensión constante que no varía con el tiempo
- cP – Centipoise: medida de la viscosidad de un líquido
- C.G.S. – Sistema Cegesimal de Unidades: Sistema de medición
- LOGO de SIEMENS: autómeta empleado para automatismos cableados
- LOGO Soft Comfort: medio para programar un logo
- PID – Proporcional Integral Derivativo: mecanismo de control por realimentación que calcula una desviación entre un valor medido y el deseado, para aplicar una acción.
- PLC – Controlador Lógico Programable: dispositivo empleado en la automatización en el que se programa y controla procesos secuenciales en tiempo real.
- Rheocalc V3.3 Build 49-1: programa empleado para realizar mediciones de viscosidad tipo único punto
- RPM – Revoluciones por Minuto: Unidad para medir la velocidad
- RTD – Detector de Temperatura Resistivo: sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.
- S.I.: Sistema de medición de unidades “Sistema Internacional”
- $T_{\text{Chocolate}}$ : Temperatura del chocolate en el interior del cilindro
- $T_{\text{H}_2\text{O}}$ : Temperatura del agua empleada para fundir el chocolate

## **1. CAPITULO I.- Introducción**

## **1.1. Cacao en Ecuador**

### **1.1.1. Ecuador País Cacaotero**

Ecuador es considerado uno de los principales países exportadores de cacao, desde 1830 hasta 1890 fue el mayor exportador mundial de este producto con una producción máxima de 40000 Tm. En los años siguientes, su producción se redujo en un 30% por problemas en los cultivos y una mala administración de las plantas cacaoteras que fue afectada por las consecuencias de la Primera Guerra Mundial. En 1950, investigaciones permitieron desarrollar algunas variedades de cacao resistente, que permitían que el producto conserve su sabor y aroma tras aprovechar las condiciones agro-climáticas; obteniendo un cacao fino “Arriba” y el cacao CCN-51. (Anecacao, 2012)<sup>1</sup>

### **1.1.2. Importancia del Cacao**

En las últimas décadas, se ha retomado este frente económico y se ha iniciado un proceso de tecnificación en la producción de semi-elaborados y derivados del cacao como: el licor de cacao, la manteca de cacao y el chocolate. Actualmente este proceso de innovación ha permitido la creación de empresas medianas, micro y artesanales; las cuales aprovechan el cacao para tratar de producir chocolate fino de exportación.

### **1.1.3. Producción de Cacao Durante el Primer Semestre 2012**

Según ANECACAO (2012), el Ecuador exporta aproximadamente anualmente 105000 Tm de cacao ya que más del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma se elabora con cacao ecuatoriano. Los datos estadísticos de ANECACAO muestran que las cifras de exportación desde enero hasta noviembre del 2012 reflejan fluctuaciones

---

<sup>1</sup> ANECACAO, Asociación Nacional de Exportadores de Cacao.

considerables, lo cual se puede apreciar detalladamente en la figura 1, la figura 2 y la figura 3.<sup>2</sup>

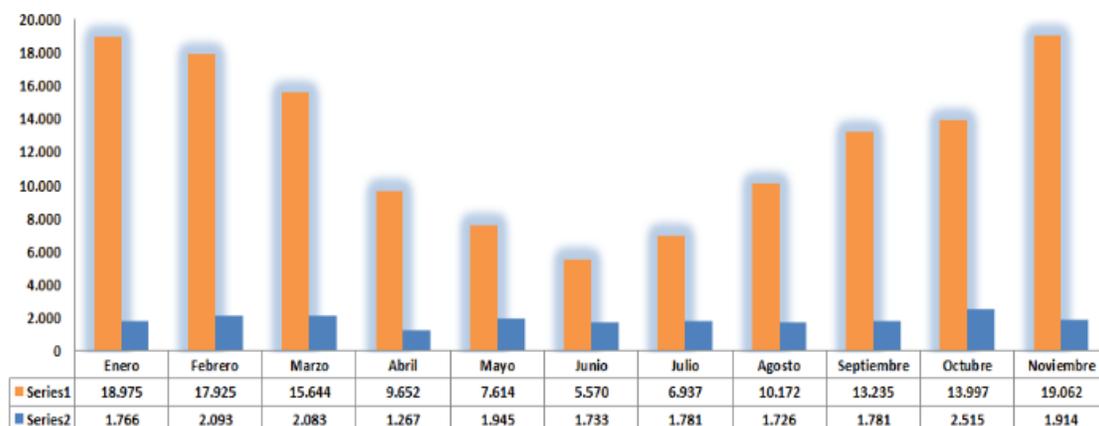


Figura 1.- Exportaciones de enero a noviembre del 2012: Cacao en grano y semielaborados expresados en Tm.

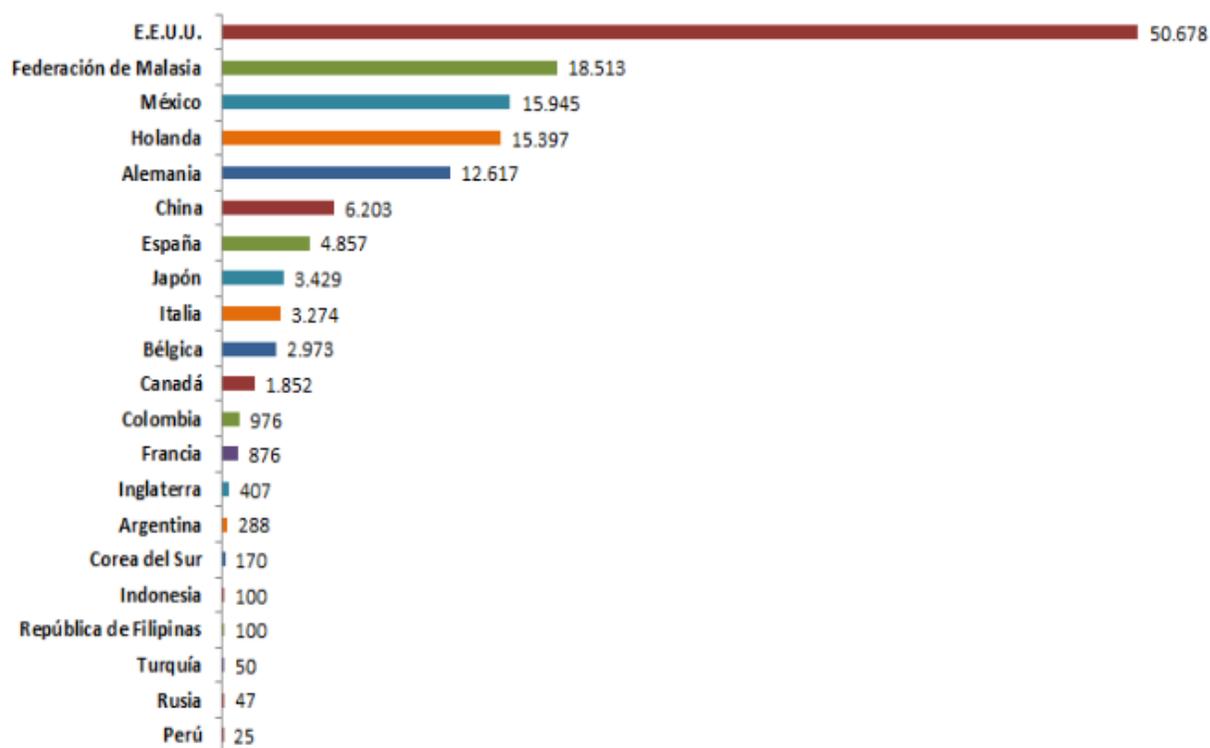


Figura 2.- Principales países de destino de las exportaciones de cacao en grano durante el 2012 medido en TM

<sup>2</sup> Información del Dpto. Estadístico & Comercio Exterior de ANECACAO

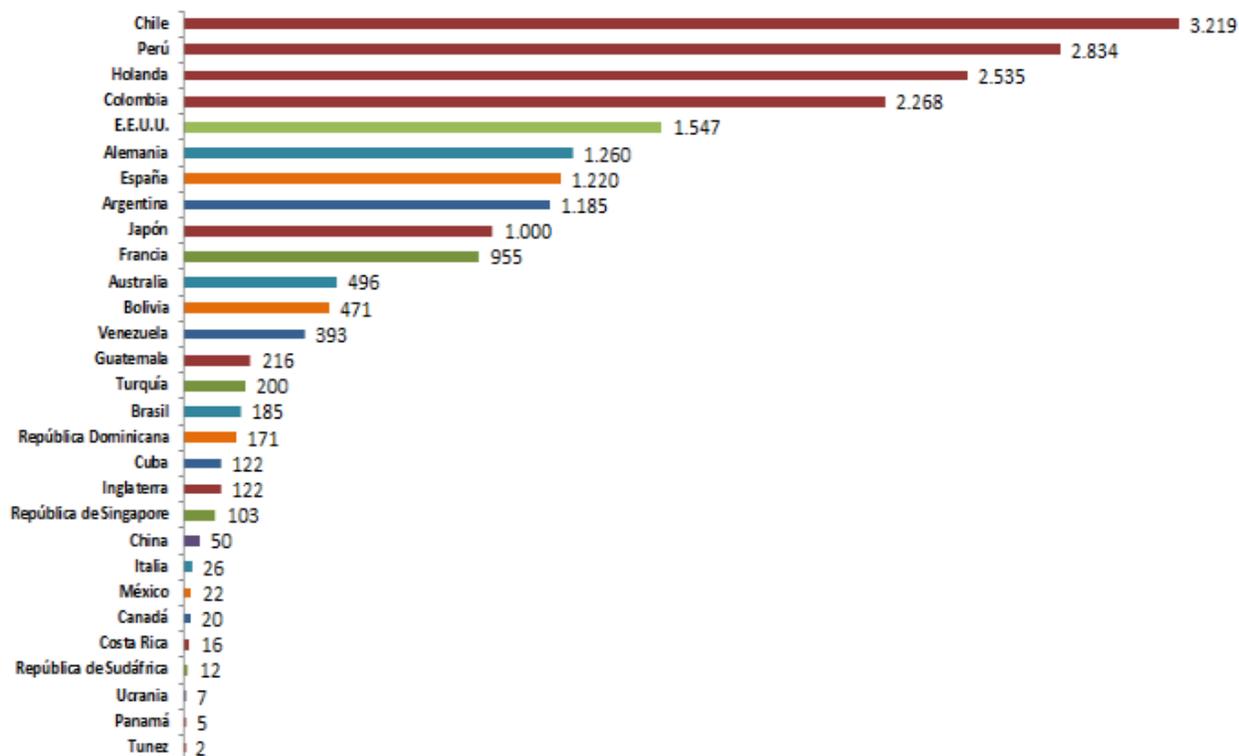


Figura 3.- Principales países de destino de las exportaciones de cacao en semielaborado durante el 2012 medido en TM

## 1.2. Planteamiento del Problema

La *Automatización Y Optimización De Una Máquina Fundidora De Chocolate* es un proyecto desarrollado bajo el concepto de “innovación”, el mismo que busca participar en el desarrollo de soluciones tecnológicas para cubrir los problemas de la sociedad moderna en el sector productor de chocolate. Al enfocarse en la pequeña empresa, se determinó que el problema radica en el método empleado para la fundición del chocolate, ya que en la mayoría de las empresas es netamente artesanal, utilizando la técnica del “baño maría”, la cual consiste en sumergir un recipiente en agua a una temperatura determinada y junto a una agitación de forma manual lograr el proceso de fundición del chocolate. (Como derretir chocolate a baño maría)

### **1.3. Alcance**

El proyecto *Automatización Y Optimización De Una Máquina Fundidora De Chocolate* pretende diseñar y construir un circuito de control, el cual al ser automatizado y tras seguir una serie de etapas, permitirá lograr la optimización de la máquina fundidora de chocolate.

### **1.4. Objetivo General**

Brindar una solución al problema de fundición artesanal del chocolate, al implementar la automatización de una máquina fundidora de chocolate.

### **1.5. Objetivos Específicos**

- Realizar un programa, el cual al ser instalado en la máquina, permita al usuario realizar con facilidad el proceso de fundición.
- Comprobar que se puede mejorar el tiempo y ahorrar recursos en la fase de fundición del chocolate en comparación con el procedimiento artesanal.
- Prevenir que el chocolate sobrepase la temperatura de licuefacción, para evitar que pierda su calidad y sus propiedades, durante el proceso de fundición.
- Controlar totalmente el proceso de producción, evitado un exceso de funcionamiento de los componentes, con lo cual se desea mantener la integridad de los componentes y equipos instalados.

## 1.6. Descripción General del Proyecto: Automatización y Optimización de una Máquina Fundidora de Chocolate

Entre los principales problemas que se presentan en el proceso de elaboración del chocolate artesanal (no automatizado), hay dos en especial que son críticos y que representan la mayor dificultad para su control:

- La estabilidad y el manejo de la temperatura empleada en cada etapa del proceso.
- La velocidad y mecanismo de agitación del chocolate dependiendo de cada fase.

Dichos problemas en el proceso de elaboración de chocolate, en algunas etapas, se venía desarrollando básicamente con las técnicas obtenidas por años de experiencia; sin embargo, al analizar las falencias mencionadas anteriormente y cuáles eran los inconvenientes durante el proceso de producción, se pensó en cómo podían ser solucionadas al emplear una máquina automatizada; en la tabla 1 se detalla el análisis sobre el control de temperatura y en la tabla 2 se menciona sobre el sistema de agitación.

Tabla 1.- Análisis del control de temperatura en el proceso de “baño maría” realizado en la producción artesanal de chocolate

<b>Problema Actual</b>	<b>Solución Planteada</b>
No se tiene un control exacto de la temperatura del agua lo cual limita conocer la temperatura del líquido conforme se derrite el chocolate.	Al emplear sensores de temperatura incorporados a un sistema de control, se puede conocer la temperatura tanto del agua como del chocolate.

Tabla 2.- Análisis del mecanismo de agitación en el proceso de “baño maría” realizado en la producción artesanal de chocolate

<b>Problema Actual</b>	<b>Solución Planteada</b>
Si el mecanismo de agitación es manual, no se garantiza que la velocidad de agitación (RPM) sea constante, debido a que el ser humano tiende a cansarse, teniendo una velocidad variada.	Empleando un motor eléctrico incorporado al sistema de control permitirá controlar y variar la velocidad de agitación a un ritmo constante conforme desee el usuario.

## **2. CAPITULO II.- Marco Teórico**

## 2.1. Propiedades y Características del Chocolate a Fundir

El pilar más importante del presente proyecto representa el conocimiento en el área de alimentos sobre el chocolate y sus propiedades, lo cual es fundamental para poder proceder con las etapas siguientes en el proceso de automatización de la máquina.

### 2.1.1. Propiedades y Características del Chocolate a Fundir

El chocolate en general resulta de la adición de otros componentes a la manteca de cacao como: carbohidratos, emulsificantes, especias, sabores naturales y/o artificiales, antioxidantes, etc.; es por eso que el punto de fusión se incrementa y varía dependiendo del tipo de chocolate a trabajar. Según el artículo “*Chocolate: el sabor que excita*”, las mezclas varían dependiendo del productor, pero generalmente para las tres variedades de chocolate oscilan como se indica en la tabla 3. (Quiroz, 2010: 3-9)

Tabla 3.- Componentes principales y su porcentaje necesario para realizar el chocolate.

Fuente – Quiroz, “Chocolate: el sabor que excita”

Tipo de Chocolate	Mezcla
Negro u Oscuro	Masa de cacao, mínimo 20% de manteca de cacao y azúcar.
Lácteo	Masa de cacao, mínimo 15% de sólidos de leche, 3% o 4% debe ser grasa de leche, el máximo de grasa de contenida debe ser 25% y el máximo de azúcar contenida debe ser del 50%.
Blanco	No contiene ningún sólido de cacao, al menos con el 15% de sólidos de leche, mínimo 20% de manteca de cacao y máximo 55% de azúcar.

### 2.1.2. ¿Qué tipo de fluido es el chocolate?

Se conoce que el chocolate al superar cierta temperatura se comporta como un fluido pseudo-plástico, esto quiere decir que la viscosidad aparente disminuye con el aumento de la relación de deformación. Todo esto debido a una propiedad de sus grasas llamada polimorfismo, en la que las grasas se solidifican en varios tipos de cristales, como se resume en la tabla 4; según la velocidad de agitación y temperatura tanto de calentamiento como de enfriamiento, hasta llegar así a una estructura cristalina termodinámicamente estable de la cual dependen sus propiedades.<sup>3</sup>

Tabla 4.- Formas Polimórficas de grasas en general.

Fuente – “Polimorfismo”

	<b>A</b>	<b>B'</b>	<b>β</b>
<b>Empaquetamiento</b>	Hexagonal	Rómbico	Triclínico
<b>Dist. Ret. Corta</b>	4.2 °A	3.8 – 4.2 °A	4.6 °A
<b>Densidad</b>	Menos denso	Intermedio	Más denso
<b>Punto de fusión</b>	Más bajo	Medio	Más alto

### 2.1.3. ¿Cuál es la temperatura de fundición del chocolate?

Para evitar cualquier tipo de inconveniente en el proceso es necesario considerar los factores que son determinantes para el punto de fusión del chocolate y el contenido de grasa del mismo, con lo que se puede determinar la temperatura ideal del líquido a calentarse y el tiempo aproximado para llegar a la temperatura de licuefacción.

<sup>3</sup> Resumen de la presentación de “Polimorfismo”

Si se va a trabajar con coberturas de chocolate es recomendable que en el proceso de fundición se emplee una técnica similar a la de “baño maría” o con flujo de aire. Además hay que considerar los diferentes tipos de cobertura y sus respectivas propiedades, los mismos que se indican en la tabla 5 y en la tabla 6, en base a lo recolectado de “*El chocolate y sus aplicaciones más comunes*”. (Iñigo, 2000)

Tabla 5.- Precauciones a considerar durante el proceso de manipulación con el chocolate de cobertura

Fuente – Iñigo, “El chocolate y sus aplicaciones más comunes”

<b>Alteración</b>	<b>Causa</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Aspecto arenisco</b>	Cobertura muy calentada desde el principio	El azúcar cristaliza
<b>Color blanquecino</b>	Cobertura utilizada a temperatura muy baja después de trabajarla	Utilización a menos de 28°C
<b>Diferentes tonalidades</b>	Cobertura utilizada a temperatura muy alta después de trabajarla	Utilización a más de 31°C

Tabla 6.- Temperaturas de fundición para los diferentes tipos de chocolate de cobertura

Fuente – Iñigo, “El chocolate y sus aplicaciones más comunes”

<b>Tipo de Cobertura</b>	<b>Temperatura de Fusión</b>
<b>Cobertura negra</b>	Entre 45 °C y 50 °C
<b>Cobertura blanca</b>	45°C
<b>Cobertura láctea</b>	40°C

Según el libro “*La ciencia del Chocolate*” de Beckett, si se trabajara con un chocolate de calidad, es decir que haya sido templado o temperado previamente, para ser

fundido y llegar a un estado de fluido hay que considerar una temperatura promedio en un rango entre 45°C y 50 °C, temperatura en la que se funden todos los sólidos y la manteca de cacao. Además, al fundir este tipo de chocolate lo que interesa es que no se pierdan los cristales  $\beta'$  formados por cristalización en el proceso de templado o temperado. Los valores recomendados se detallan en la tabla 7. (Beckett, 2000)

Tabla 7.- Temperaturas para el proceso de templado del chocolate dependiendo del tipo de chocolate

Fuente – Beckett, “La ciencia del chocolate”

<b>Tipo de Cobertura</b>	<b>Temperatura de Fusión</b>	<b>Descenso de Temperatura</b>	<b>Temperatura de Templado</b>
<b>Chocolate negro</b>	Entre 45 °C y 50 °C	a 27°C	a 31 °C
<b>Chocolate blanca</b>	45°C	a 24 °C	a 28 °C
<b>Chocolate con leche</b>	40°C	a 25 °C	entre 28 °C y 30 °C

Por otra parte Beckett (2000) sugiere que con cualquier tipo de chocolate hay que considerar no pasar los 50°C, y es recomendable no llegar a los 60°C, debido que al sobrepasar la resistencia de la estructura cristalina formada se inicia un daño de la misma, lo que lleva a que se quemen las proteínas del mismo y como consecuencia se afecta la calidad del producto.

## **2.2. Fundamentos Teóricos**

### **2.2.1. Automatización**

Implica implementar procesos automáticos en mecanismos, sistemas o máquinas mediante la tecnología, para operar y controlar la producción. Teniendo como objetivo reducir los costes de manufactura y disminuir el número de personal, incrementar y mejorar la calidad del producto. (“Definición de automatizar”, 2011)

### **2.2.2. Optimización**

Es buscar la mejor forma de realizar una actividad; ya que al emplear un software se desea que las tareas se realicen de la manera más rápida posible al ahorrar tiempos de repuesta y por ende usar los recursos de manera más eficiente. (“Optimización”, 2012)

## **2.3. Simulación por Computadora**

Es la acción de diseñar un modelo de un sistema real para entender el comportamiento del sistema frente a diversos escenarios o circunstancias de la vida real por medio de un programa de computadora. Es por eso que se emplearon los siguientes programas debido a sus características. (“Simulación por computadora”, 2012)

### **2.3.1. Cade Simu**

Es un programa que permite trazar un esquema eléctrico tras insertar componentes de la librería para poder realizar una simulación y verificar el correcto funcionamiento del circuito. Los componentes de la librería son (CADESIMU, 2011):

- Alimentaciones tanto de CA como de CC
- Fusibles y seccionadores.
- Interruptores automáticos, interruptores diferenciales, relé térmico, y disyuntores.
- Contactores e interruptores de potencia.
- Motores eléctricos
- Variadores de velocidad para motores de CA y CC.
- Contactos auxiliares y contactos de temporizadores.
- Contactos con accionamiento, pulsadores, setas, interruptores, finales de carrera y contactos de relés térmicos.
- Bobinas, temporizadores, señalizaciones ópticas y acústicas.
- Detectores de proximidad y barreras fotoeléctricas.
- Conexión de cables unipolares y tripolares, mangueras y regletas de conexión.

### **2.3.2. Logo Soft Comfort**

Es un software desarrollado por SIEMENS que se emplea para crear y simular de un PLC LOGO, mediante el uso de diagramas en bloque o escalera. La gran ventaja de este

programa es que incluye un simulador para comprobar que el resultado del programa es el deseado. Además este programa cuenta con una gran interfaz de usuario, lo cual permite al interesado familiarizarse con la creación de diagramas ya que su librería se encuentra distribuida de la siguiente manera (LOGO! Soft Comfort, 2012):<sup>4</sup>

- Constantes y conectores.- que permite posicionar bloques de entrada, bloques de salida, marcas o constantes en la interface de programación.
- Funciones básicas.- permite posicionar bloques lógicos booleanos en la interfaz de programación; además permite negar entradas individuales.
- Funciones especiales.- permite posicionar funciones adicionales con remanencia o comportamiento de tiempo en la interfaz de programación.

## **2.4. Prueba de Tensión a la Fluencia de un Fluido Empleando un Reómetro**

Recordando que el punto de fluencia es el punto en el que un material comience a fluir, y que las propiedades relacionadas son la tensión y la deformación. Es por eso que el límite elástico es el esfuerzo crítico de corte, aplicado a la muestra, en la que el material empieza a fluir como un líquido. La deformación de fluencia es la deformación en el material, que resulta de la tensión aplicada antes del inicio del flujo.<sup>5</sup>

El principio de funcionamiento de un Reómetro es conducir un eje de paletas a través de la espiral de resorte calibrado conectado a un eje de accionamiento del motor (ver figura 4). El husillo de paletas se sumerge en el material de ensayo. La resistencia del material a la circulación

---

<sup>4</sup> Realizado en base a la ventana de ayuda del software LOGO! Soft Comfort

<sup>5</sup> "Brookfield DV-III ULtra" Manual de Instrucciones de Operación para Reómetro Programable

se mide observando cada vez mayores valores de par como el DV-III Ultra motor gira. La cantidad de rotación del eje se mide por la desviación del muelle espiral calibrado dentro del instrumento. Deflexión del resorte se mide con un transductor rotativo.(Brookfield DV-III)

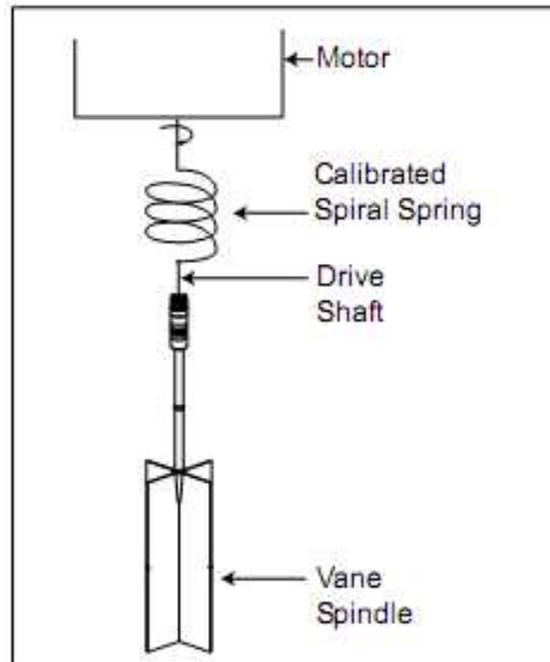


Figura 4.- Componentes básicos de un reómetro para la medición de la viscosidad

Fuente – Manual de instrucciones de operación para reómetro programable

### **3. CAPITULO III.- Antecedentes**

### 3.1. Análisis de los Requerimientos para la Máquina

Con el fin de realizar un pre-diseño del sistema de control para la fundidora que garantice su óptimo funcionamiento, se procedió a analizar: las respectivas máquinas existentes con sus patentes, comprender el comportamiento del chocolate con la variación de la temperatura y analizar los requerimientos del mercado. Al tener una idea clara de la máquina deseada se realizó una lista de componentes y características de los diferentes sistemas de la máquina que fueron obviados en los requerimientos, los mismos que se detallan en la tabla 8.

Tabla 8.- Análisis de los requerimientos para el diseño del sistema de control de la máquina proporcionados

Elaboración propia

<b>Estructura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tapa contará con un sistema para asegurarla, evitando que por error caiga dentro de la máquina durante su funcionamiento.</li> <li>• Tener sensores entre la tapa y la estructura permitirá detectar cuando esta se abre y así parar el giro de las paletas, con el fin de evitar algún accidente.</li> </ul>	
<b>Componentes y Sistema</b>	Sistema de Control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se contará con un sistema PID, debido a que es necesario monitorear continuamente el funcionamiento y hacer una configuración en función del tiempo.</li> <li>• Se empleará una pantalla táctil fácil de usar.</li> <li>• Es necesario contar con un PLC para poder programar.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al emplear sensores de temperatura se podrá medir exactamente cuál es la temperatura del chocolate y del agua.</li> <li>• Es necesario contar con un botón de parada de emergencia para detener por completo el funcionamiento de la máquina.</li> </ul>	

### 3.2. Pre-diseño del Sistema de Control

Ya que la automatización es una de las características principales de la máquina, fue necesario realizar un primer esquema de control, detallado en la figura 5, con el cual se logró tener una idea del funcionamiento de los posibles equipos a instalar para poder realizar la automatización.

El control de la temperatura sería posible mediante la instalación y conexión entre cada RTD con el PLC y a su vez con la pantalla táctil; de esta manera se podría calibrar la temperatura.

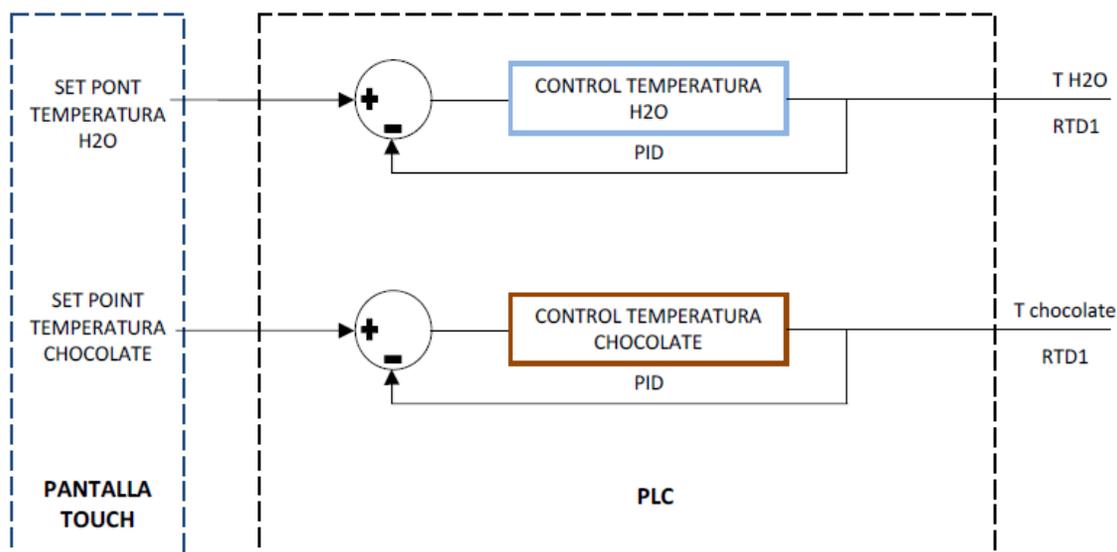


Figura 5.- Pre-diseño del sistema de control de la temperatura del agua y del chocolate

Elaboración propia

Además se realizó un pre-diseño de las conexiones eléctricas entre los equipos con el PLC, el cual se indica en la figura 6, de esta manera se pudo determinar qué capacidad de PLC se necesitaría para cumplir con los requerimientos de componentes y su funcionamiento.

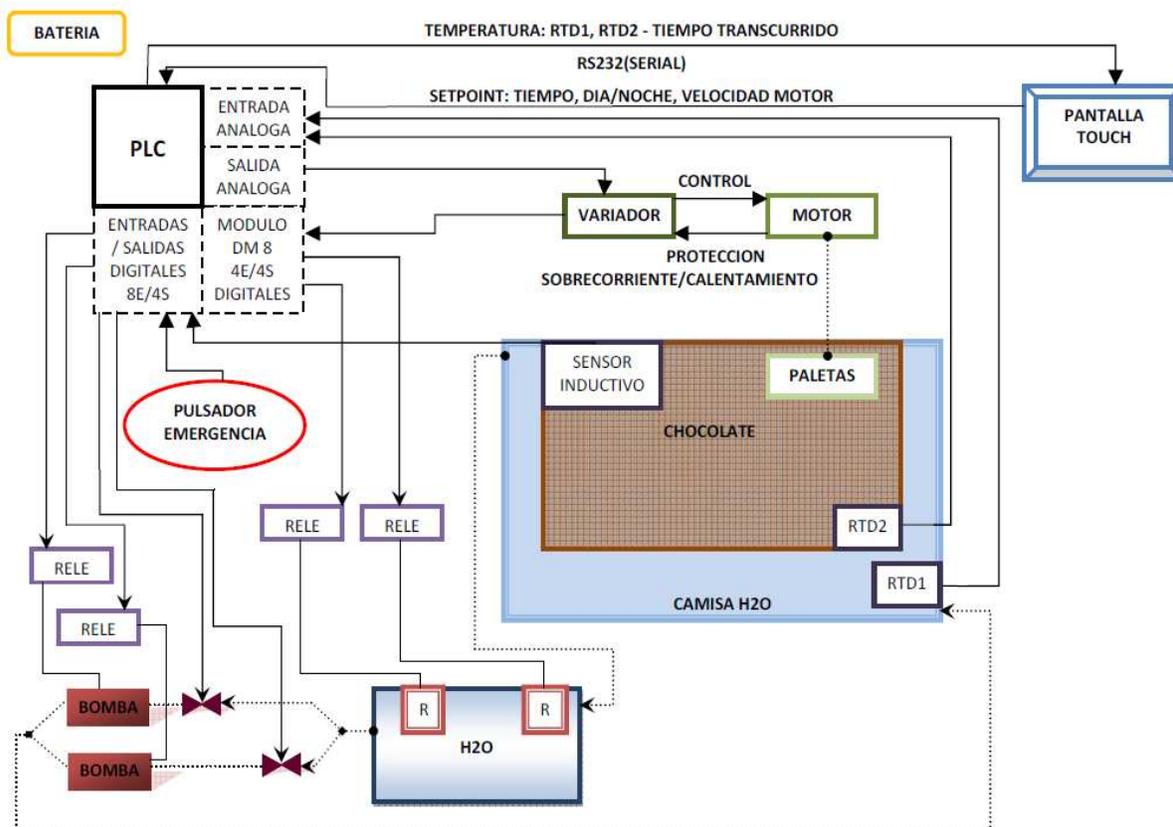


Figura 6.- Pre-diseño de las conexiones del sistema de control de la máquina que cuenta con sistema de respaldo (dos bombas y dos resistencias)

Elaboración propia

### 3.3. Máquina Fundidora de Chocolate a Automatizar

Previo al proceso de automatización, en la ejecución del proyecto se procedió a realizar: las pruebas del chocolate para determinar sus propiedades, los cálculos para determinar equipos a instalar, diseño de la máquina y proceso de manufactura. Estas fases se detallan en la tesis “Diseño y Construcción de una Máquina Fundidora de Chocolate” escrita por el estudiante Mario Alejandro Pardo Suarez.

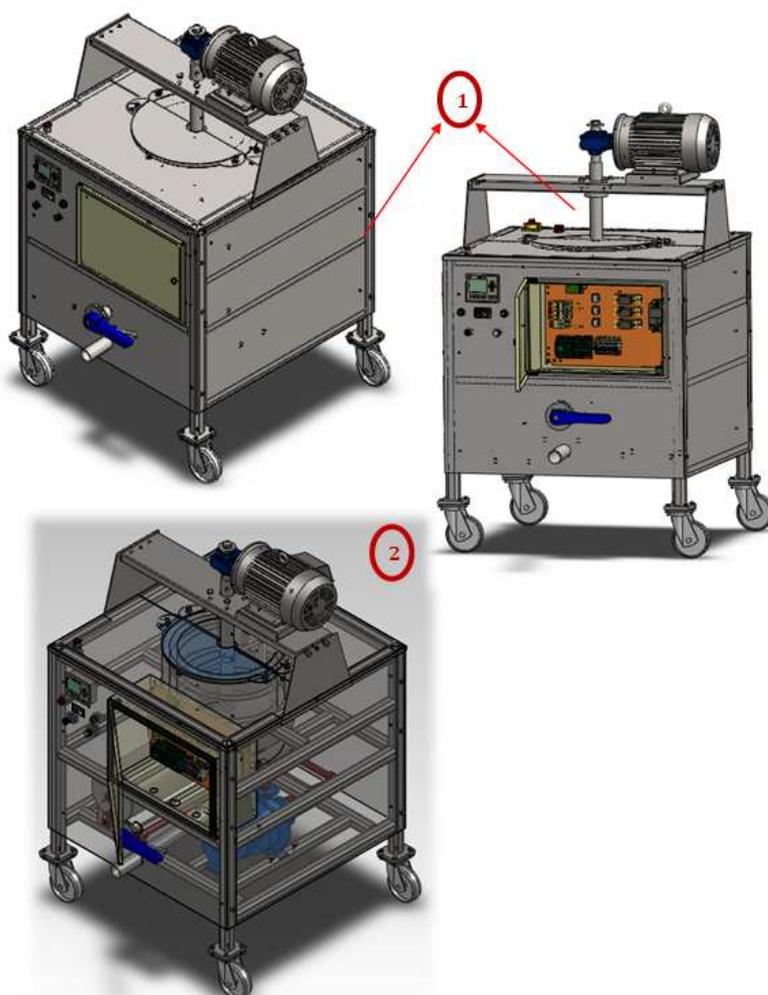


Figura 7.- Simulación de la máquina con sus componentes en diferentes perspectivas (1); componentes internos (2)

Elaboración propia

### 3.3.1. Componentes Eléctricos Instalados en la Máquina Fundidora de Chocolate

Para cumplir con los requerimientos y garantizar un óptimo funcionamiento de la máquina se procedió a instalar los componentes y equipos detallados en la tabla 9; los cuales son necesarios para poder realizar el proceso de automatización.

Tabla 9.- Equipos y componentes eléctricos instalados en la máquina fundidora de chocolate

Elaboración propia

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Ubicación</b>
1	Breaker 220V – general	Caja de Control
1	Breaker 220V – variador de frecuencia	
2	Breaker 110V – bomba, resistencia y niquelinas	
1	LOGO SIEMENS con dos módulos de expansión	
3	Contactores para variador de frecuencia, bomba y resistencia	
20	Borneras tipo legrand para conectar cableado	
1	Transformador eléctrico para el LOGO	
1	Batería seca de reserva energética para el LOGO	
3	Borneras 3P para conexiones eléctricas	
1	Fuente de poder	
2	RTD, sensor de temperatura	
1	Pantalla de control del LOGO	Recubrimiento frontal de la máquina
1	Pantalla del variador de frecuencia	
1	Switch encendido/apagado	Recubrimiento superior posterior de la máquina
1	Pulsador verde de encendido	Recubrimiento frontal de la máquina
1	Pulsador rojo de apagado	
1	Luz indicador verde de operación	
1	Luz indicador rojo de parada	
1	Pulsador de parada de emergencia	Recubrimiento superior anterior de la máquina
1	Sensor inductivo para tapas	
1	Motor eléctrico 1.5 Hp para agitación	Puente
1	Bomba de agua para recirculación	Interior de la estructura

En el gabinete metálico o caja de control se instalaron los siguientes componentes, cuya distribución se aprecia en la figura 8.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Un breaker 220V – general                             | 6. Un transformador  |
| 2. Un breaker 220V – variador                            | 7. Una batería seca  |
| 3. Dos breaker 110 – bomba ,<br>resistencia y niquelinas | 8. Un variador DELTA   |
| 4. Un LOGO SIEMENS con sus dos<br>módulos de expansión   | 9. Tres contactores – variador, bomba,<br>resistencia y niquelinas |
| 5. Veinte borneras tipo legrand                          | 10. Tres borneras 3P   |
|  | 11. Una fuente de poder  |

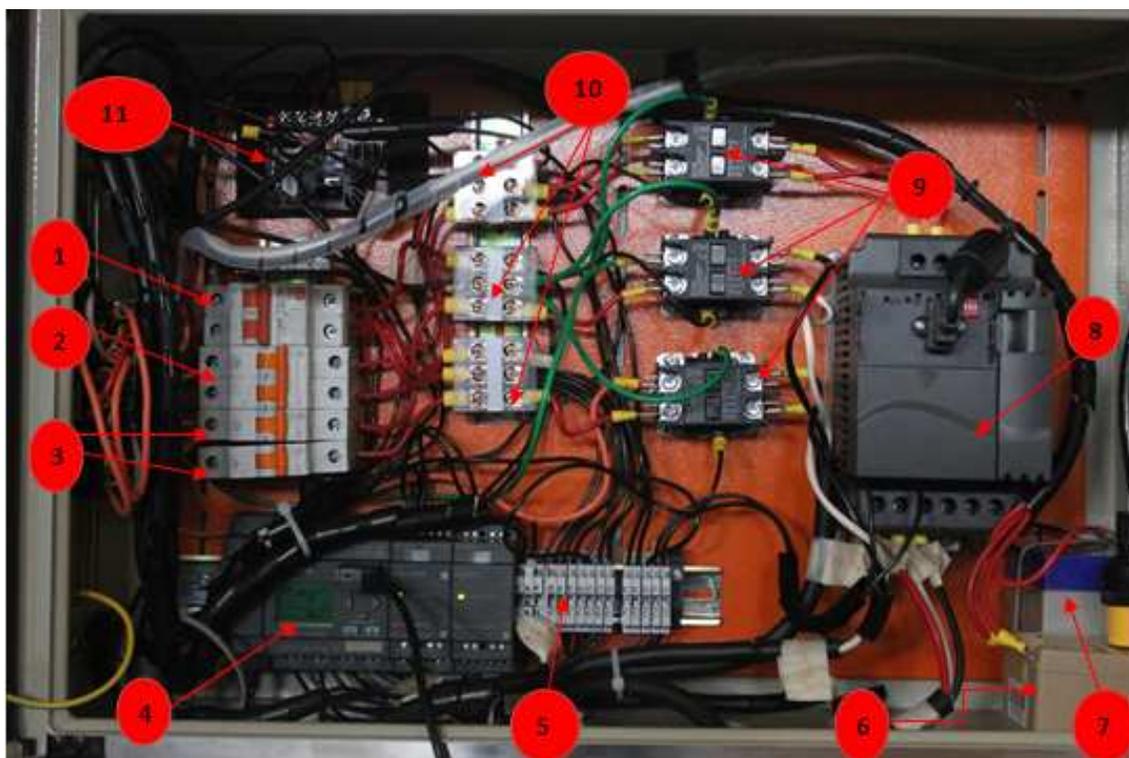


Figura 8.- Distribución de los componentes eléctricos en el panel de control.

## **4. CAPITULO IV.- Proceso de Automatización**

Previo al funcionamiento de la máquina se procedió a realizar simulaciones eléctricas para verificar el respectivo funcionamiento de los equipos y componentes eléctricos instalados, con el fin de prevenir futuros daños en los mismos, los cuales se detallan en la tabla 9. Los diagramas se encuentran en el Anexo A.

Empleando el programa Cade-Simu se realizó la primera simulación del sistema eléctrico, para ello se elaboró un diagrama elemental con el cual se representó la lógica del circuito y se deseó verificar que las conexiones eléctricas permitan un correcto accionamiento de los equipos frente a una señal externa o emitida por el LOGO; para ello, la simulación del circuito se realizó con una secuencia de pasos para que sea más fácil identificar y apreciar cada respuesta de los componentes del sistema.

Los componentes empleados de la librería para el diagrama o circuito eléctrico son: un interruptor, cuatro breakers, un pulsador de emergencia, 3 contactores, logo (que se dividió en 3), una luz indicador verde, una luz indicador rojo, un variador de velocidad, un motor eléctrico, una bomba de agua y una resistencia (calentador de agua).

1. La alimentación eléctrica al sistema de la máquina es de 220V, es por eso que se tienen las dos fases “vivas” (L1 y L2 de color marrón) más la fase “neutra” (N de color azul) que ingresan al interruptor, como se observa en la figura 9.

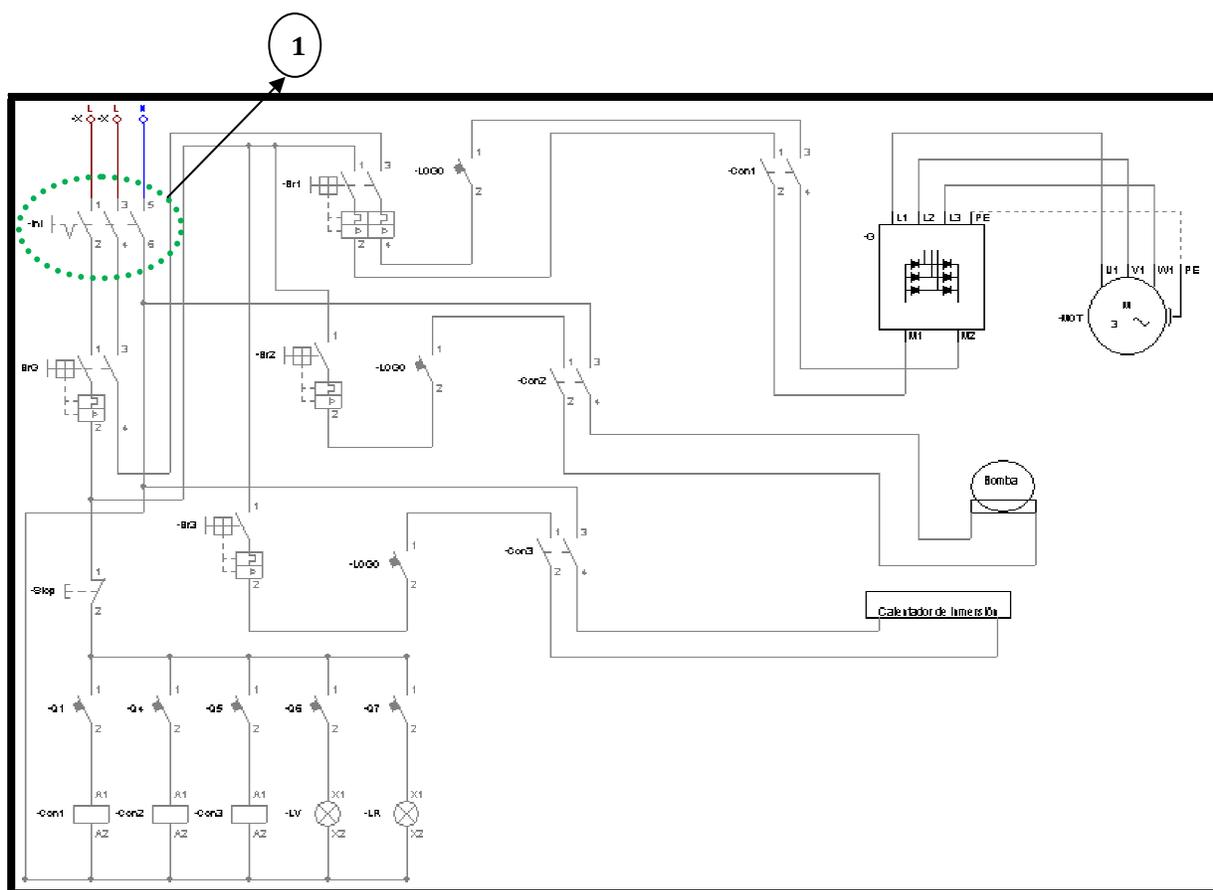


Figura 9.- Representación del sistema eléctrico – Paso 1: Con el interruptor en posición OFF (1), no hay paso de corriente eléctrica a los componentes y equipos de la máquina

Elaboración propia

2. Al accionar el interruptor de modo OFF a modo ON se puede apreciar, comparando la figura 9 con la figura 10, el cambio de color en el mismo; además que la fase “neutra” (N de color azul) se distribuye normalmente hacia los componentes eléctricos y únicamente a los contactores de los equipos que funcionan con 100V, bomba de agua y calentador del reservorio de agua.

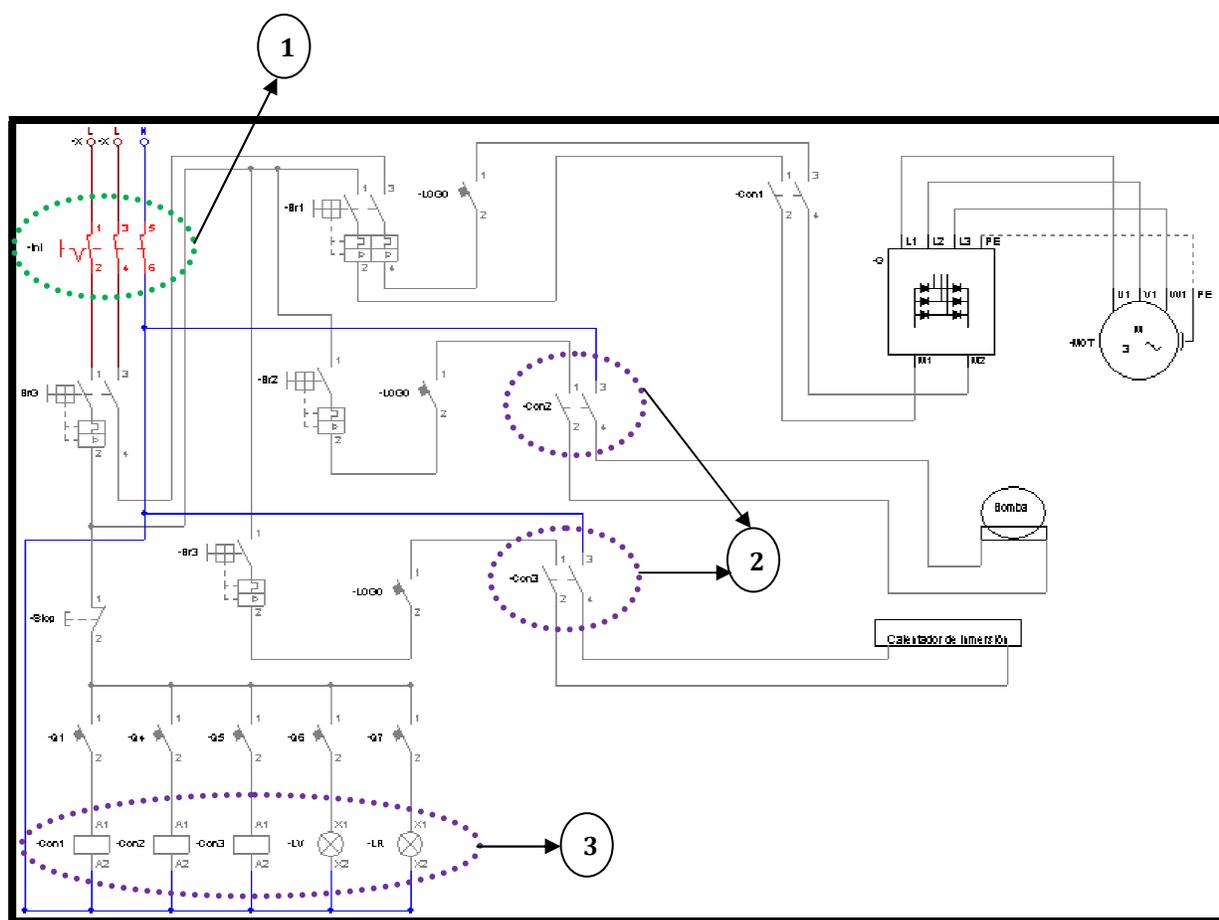


Figura 10.- Representación del sistema eléctrico – Paso 2: Interruptor en modo ON (1). Distribución de la fase neutra hacia los contactores (2) y componentes eléctricos (3)

Elaboración propia

3. La máquina cuenta con un breaker eléctrico general, el cual al ser accionado distribuye equitativamente la corriente eléctrica a los componentes eléctricos y al breaker específico de cada equipo por medio de las fases necesarias para su funcionamiento, 110V o 220V; lo cual se puede apreciar al comparar la figura 10 con la figura 11 debido al cambio de color de cada componente en el circuito.

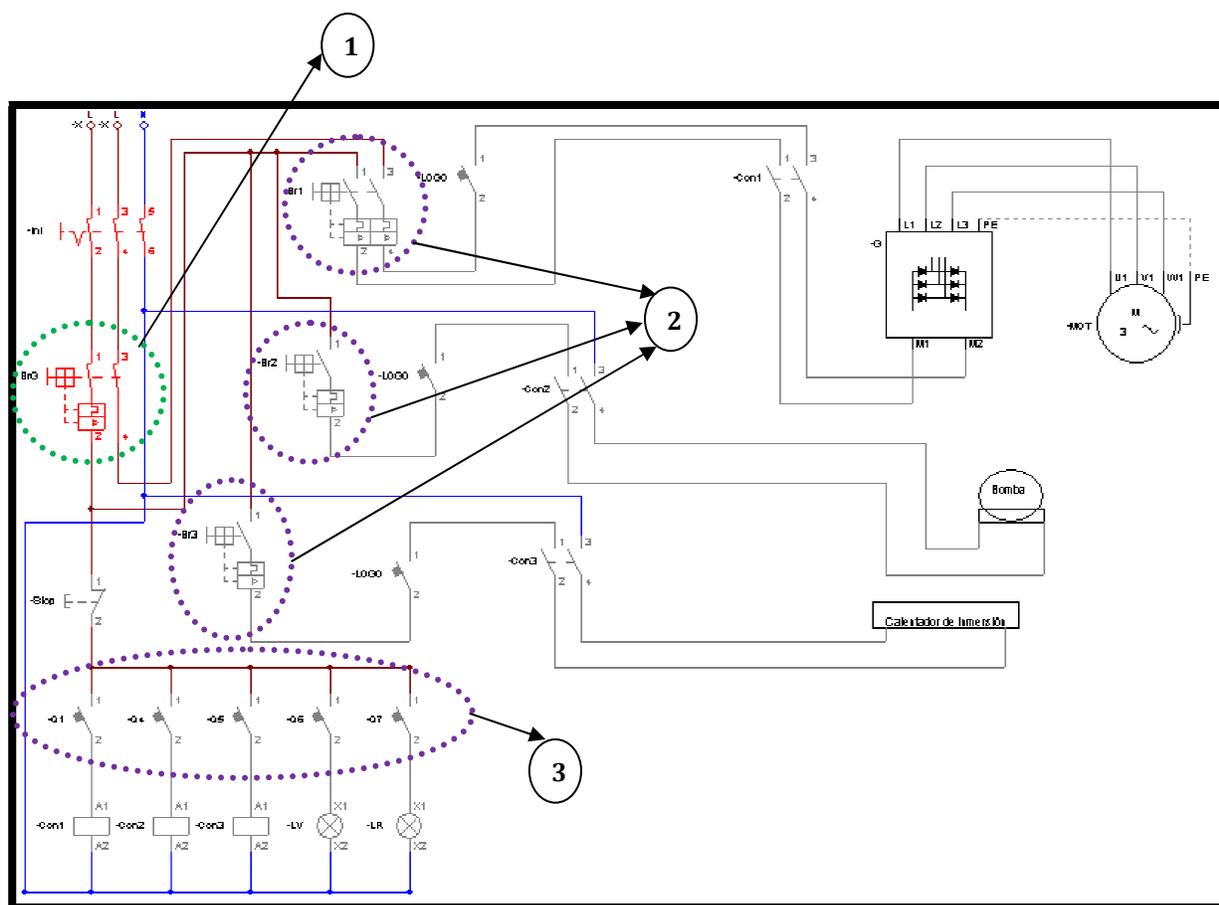


Figura 11.- Representación del sistema eléctrico – Paso 3: Accionamiento del breaker general (1). Corriente eléctrica llega a los breakers de equipos (2) y a los componentes eléctricos (3)

Elaboración propia

4. Al activar los breakers eléctricos del variador de frecuencia, de la bomba de agua y de la resistencia, la corriente eléctrica llegará a su respectivo contactor, quedando pendiente la activación del mismo a través del sistema de control, esto se puede apreciar debido al cambio de color de los componentes en el diagrama eléctrico al comparar la figura 11 y la figura 12.

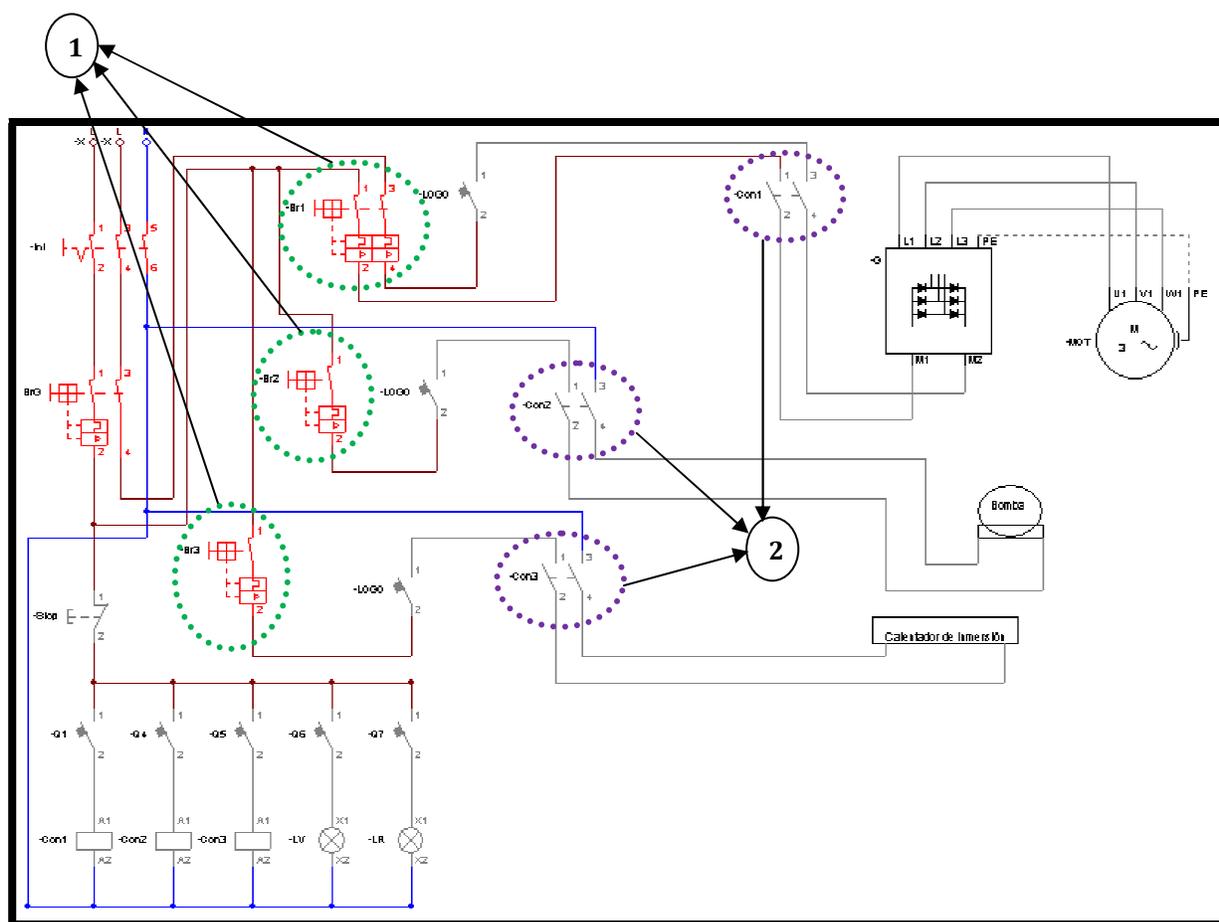


Figura 12.- Representación del sistema eléctrico – Paso 4: Activan breakers de quipos (1). Corriente eléctrica llega a contactores (2).

Elaboración propia

- 5. Cuando el operador inicia la operación de la máquina, mediante una señal enviada desde el logo se activarán los contactores, como se observa en la figura 13 al comparar con la figura 12.

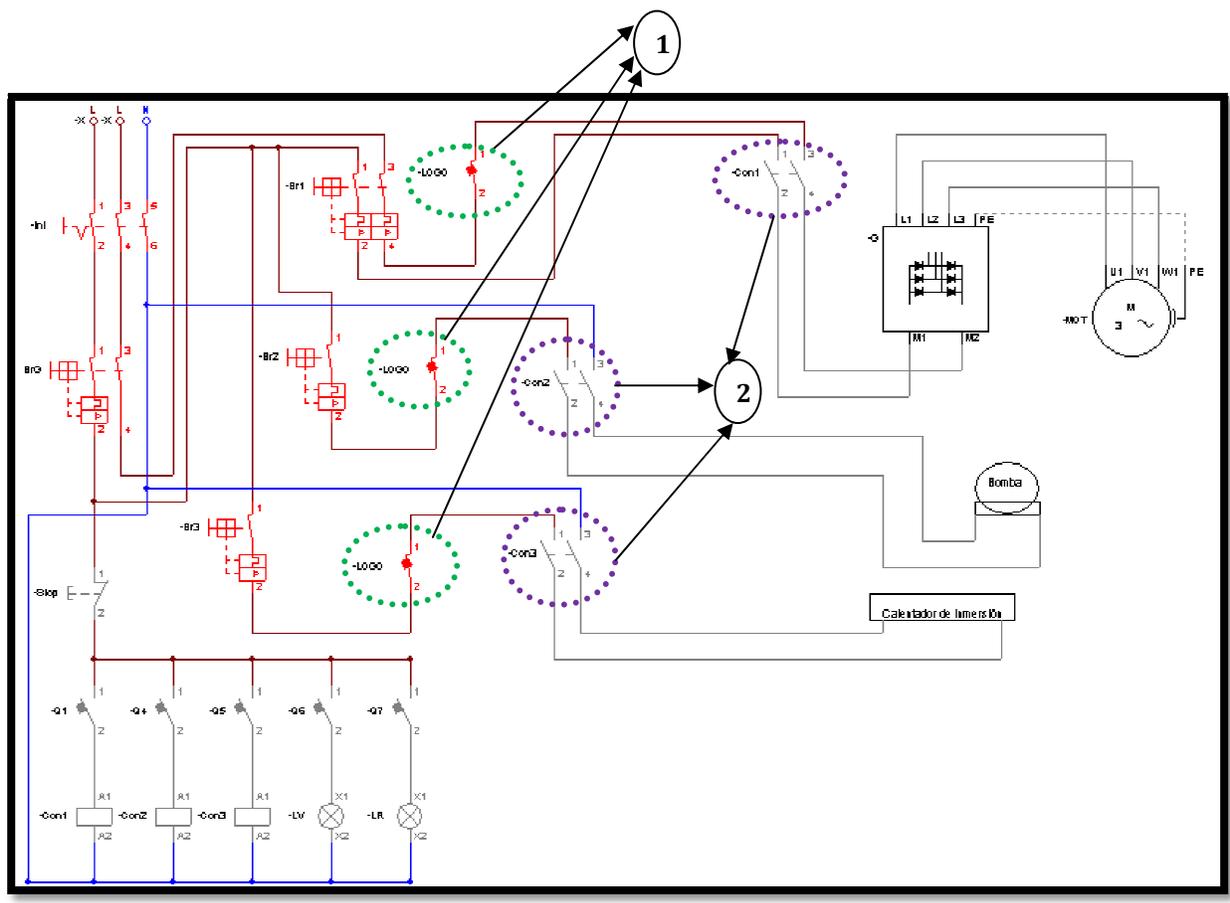


Figura 13.- Representación del sistema eléctrico – Paso 5: LOGO (1) envía señal a los contactores (2).

Elaboración propia

6. Inicia el funcionamiento de la bomba de agua y de la resistencia conjuntamente, tras ser alimentados eléctricamente, como se aprecia al comparar la figura 13 con la figura 14. Tanto la bomba de agua como la resistencia requieren de un voltaje de 110 V. Se puede observar que se enciende la luz verde para indicar el funcionamiento de estos componentes.

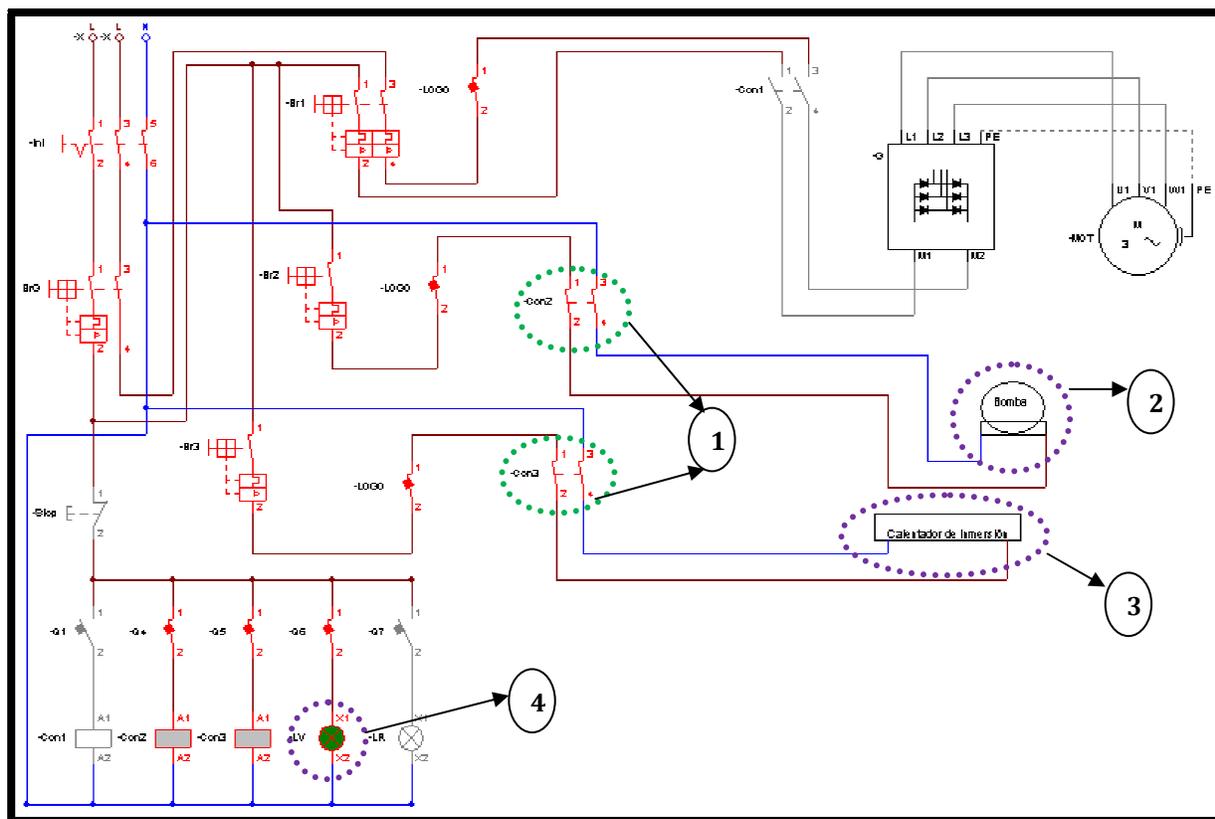


Figura 14.- Representación del sistema eléctrico – Paso 6: Contactores activados (1). Se enciende bomba de agua (2), resistencia (3) y luz verde (4)

7. El variador de frecuencia inicia su funcionamiento tras ser alimentado eléctricamente con dos fases que dan una corriente eléctrica de 220V, lo cual se indica en la figura 15 y puede compararse con la figura 14 para observar el cambio de color. Se puede apreciar cómo se enciende la luz roja para indicar su funcionamiento, independientemente si se da inicio al funcionamiento del motor eléctrico.

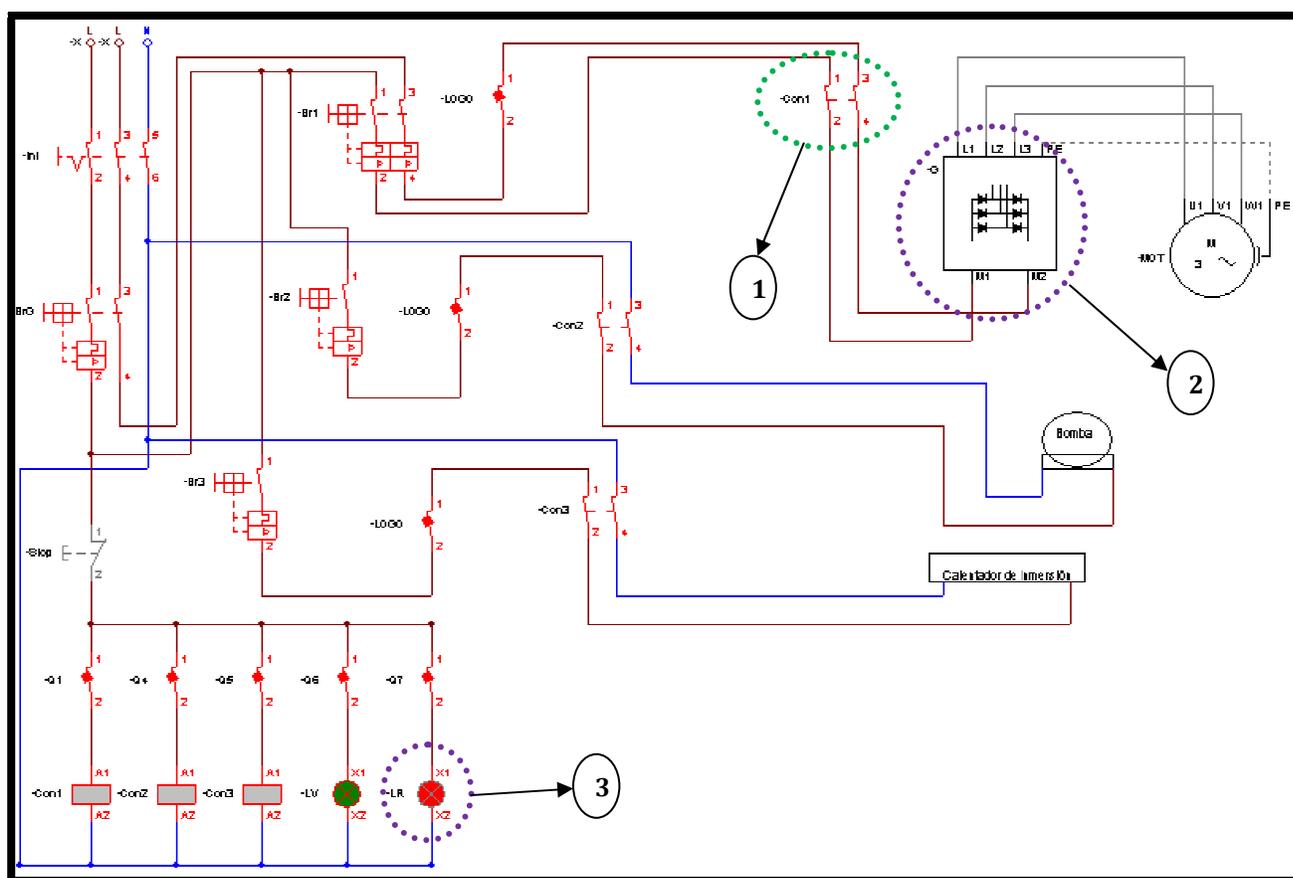


Figura 15.- Representación del sistema eléctrico – Paso 7: Acciona contactor (1). Se enciende variador (2) y luz roja (3)

8. Finalmente, como se aprecia en la figura 16, si se llegara a presionar el pulsador de emergencia se puede observar al comparar con la figura 15 cómo se corta el paso de corriente eléctrica a los equipos tras desenchavarse los contactores; con lo que se apagan las luces indicadoras.

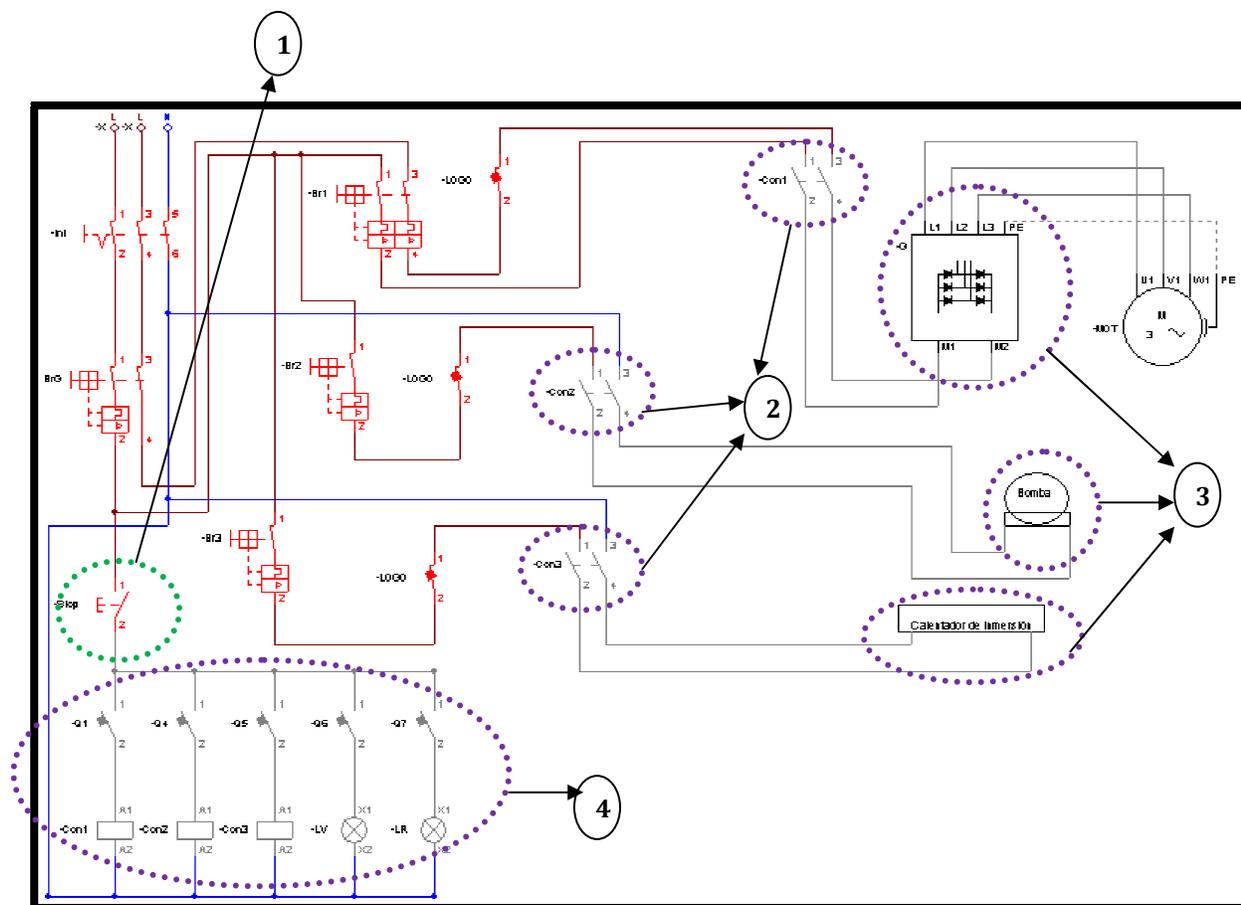


Figura 16.- Representación del sistema eléctrico – Paso 8: Activa pulsador de emergencia (1). Desactivan contactores (2). Se apagan equipos (3) y componentes (4)

Una vez concluida la primera representación del sistema eléctrico, se definió que al seguir una secuencia de pasos simulando la operación de la máquina, los componentes y equipos instalados actúan de la manera esperada; lo cual garantizó la factibilidad de proceder con la fase siguiente que es el proceso de automatización de la máquina, donde se configuraron los parámetros del accionar (encendido y apagado) de los equipos instalados en la máquina.

Para la automatización se creó un programa, detallado en Anexo A, empleando el software LOGO Soft Comfort (ver Capítulo II), siendo el único que permite al usuario programar e interactuar con el LOGO de SIEMENS mediante un lenguaje de bloques. El objetivo de la programación fue generar y proporcionar instrucciones para ser ejecutadas por la máquina para aprovechar al máximo las capacidades de los equipos instalados, y así resolver el problema del proceso de fundición artesanal. En la programación se emplearon las siguientes librerías y sus respectivas aplicaciones por sus características:<sup>6</sup>

La herramienta de constantes / conectores , permitió posicionar bloques de entrada y salida, así como marcas y constantes en la interfaz de programación.

De la sección digital del programa Logo Soft Comfort, se emplearon los siguientes bloques:

Entrada , ya que fue necesario para representar los bornes de entrada del Logo (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de entrada I1 correspondiente a la señal tipo ON emitida cuando el usuario presiona el pulsador verde, como se indica en la figura 17.

---

<sup>6</sup> Información de librerías y bloques obtenido de la Ayuda del programa LOGO Soft Comfort

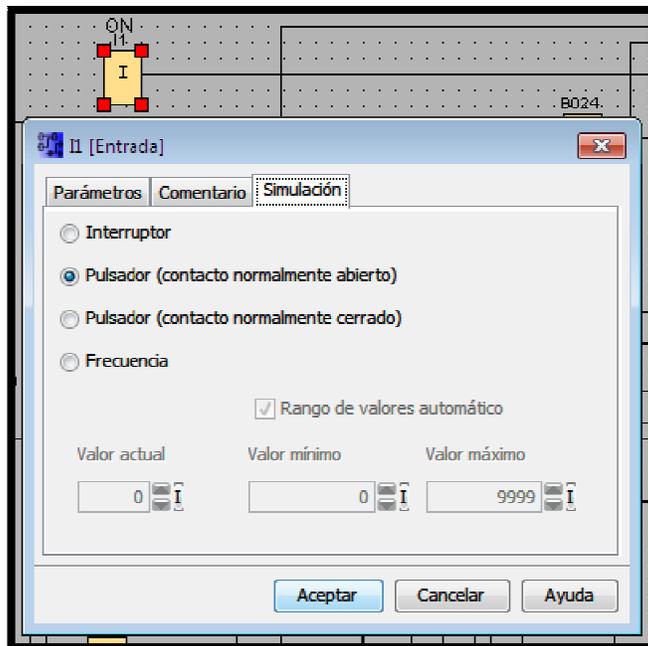


Figura 17.- Ejemplo de aplicación tipo Entrada – Digital – Constantes/Conectores

Elaboración Propia

Salida  $1-Q$ , para representar los bornes de salida del Logo, ya que en la salida siempre se encuentra la señal del anterior ciclo del programa (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de salida Q7 que acciona o no la bomba de agua, como se aprecia en la figura 18.

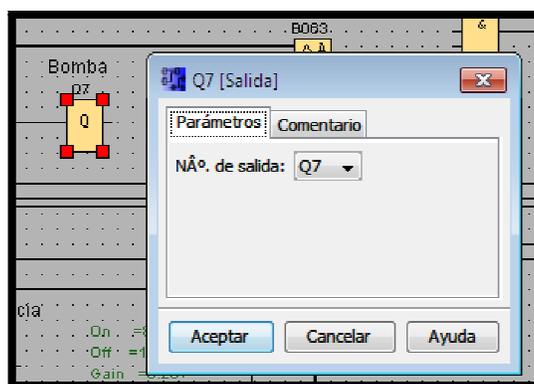


Figura 18.- Ejemplo de aplicación tipo Salida – Digital – Constantes/Conectores

Elaboración Propia

Marca  $1 \text{---} \boxed{M} \text{---} 0$ , ya que se necesitó que se devuelva a su salida la señal de entrada (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de la marca M2 que se detalla en la figura 19.

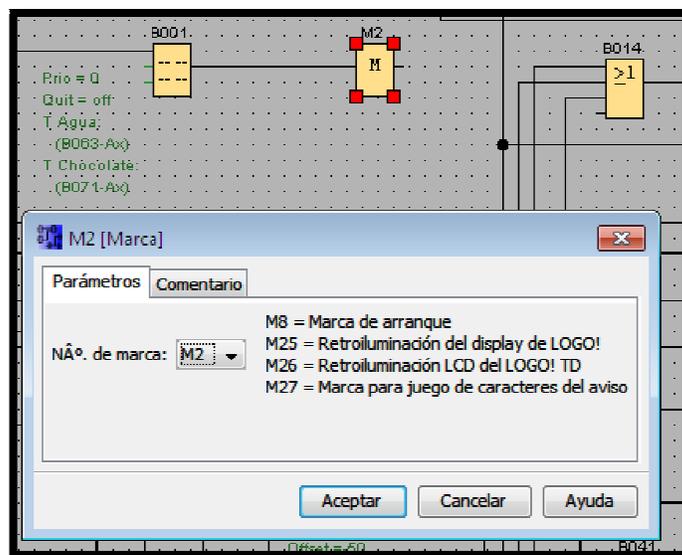


Figura 19.- Ejemplo de aplicación tipo Marca – Digital – Constantes/Conectores

Elaboración Propia

Tecla de cursor  $\text{---} \boxed{C} \text{---} 0$ , que permitió ahorrar interruptores y entradas ya que se pudo controlar manualmente el programa (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de la tecla de cursor C1 indicado en la figura 20.

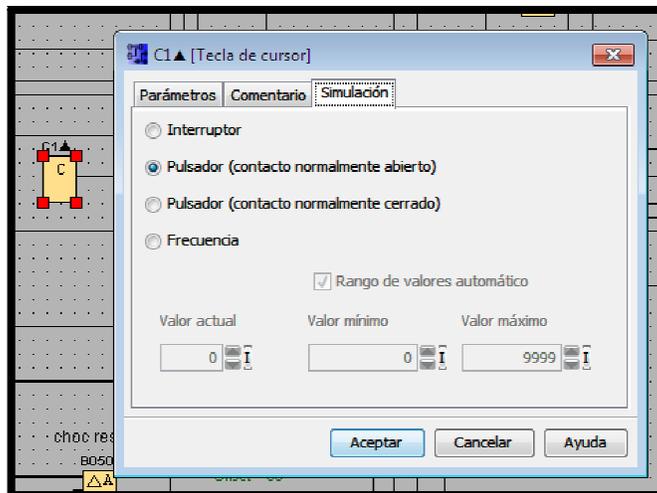


Figura 20.- Ejemplo de aplicación tipo Tecla de Cursor – Digital – Constantes/Conectores

Elaboración Propia

Teclas de función del Logo **F**, son 4 que al emplearse permitieron ahorrar interruptores y entradas, además fue más fácil acceder manualmente al programa (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de la tecla de función F2 para el modo manual de operación, como se indica en la figura 21.

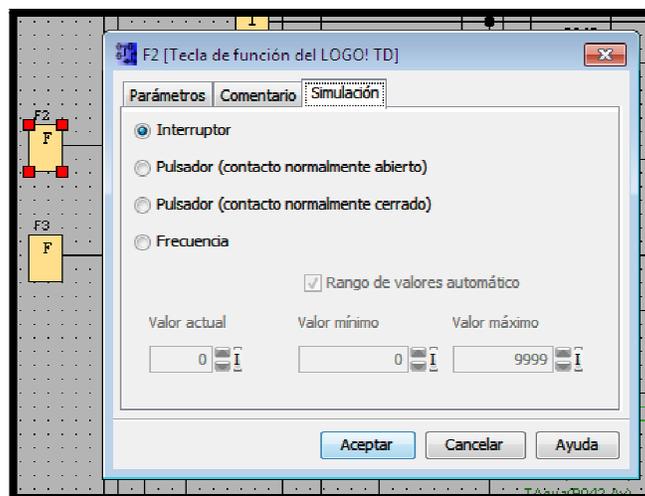


Figura 21.- Ejemplo de aplicación tipo Tecla de Logo – Digital – Constantes/Conectores

Elaboración Propia

De la sección de analógicas del programa Logo Soft Comfort, se emplearon los siguientes bloques:

Entrada analógica  , ya que fue necesario provocar contadores rápidos adicionales y analógicos (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de la entrada analógica AI3 para la señal que emite el sensor de temperatura del agua, como se puede ver en la figura 22.

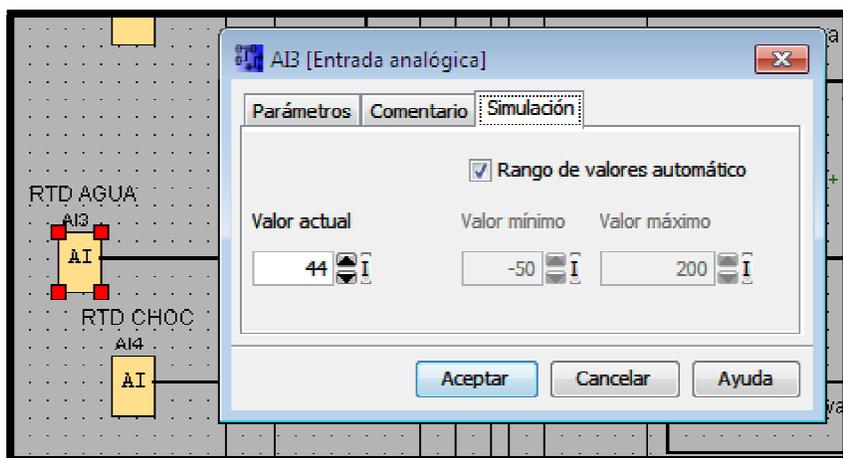


Figura 22.- Ejemplo de aplicación tipo Entrada Analógica – Analógicas – Constantes/Conectores

Elaboración Propia

Marca analógica  que permitió aceptar un valor analógico solo como entrada y devolver el mismo valor, además se utilizó para las entradas analógicas o bloques de instrucción analógicos (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de la marca analógica AM1 de la figura 23.

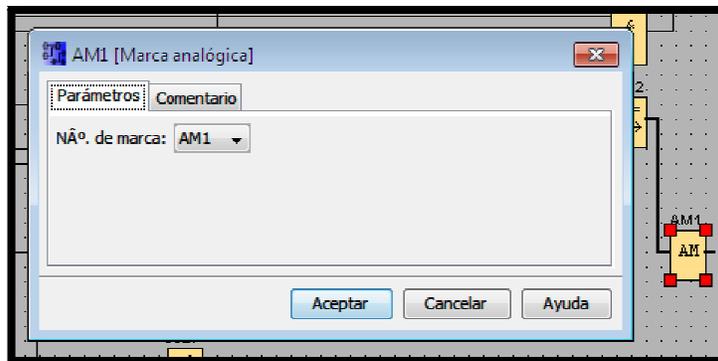


Figura 23.- Ejemplo de aplicación tipo Marca Analógica – Analógicas – Constantes/Conectores

Elaboración Propia

Las funciones básicas  se emplearon debido a la presencia de lógicos booleanos estándar en la interfaz de programación, aplicando los siguientes bloques dentro de esta herramienta para la programación:

AND , ya que solo adopta el estado 1 si todas las entradas están cerradas (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque AND B066 de la figura 24.



Figura 24.- Ejemplo de aplicación tipo AND – Funciones Básicas

Elaboración Propia

OR  , ya que adopta el estado 1 si al menos una entrada está cerrada (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque OR B018 de la figura 25.

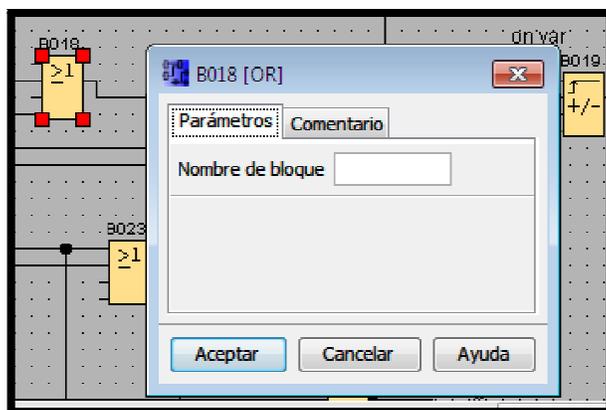


Figura 25.- Ejemplo de aplicación tipo OR – Funciones Básicas

Elaboración Propia

XOR  , ya que adopta el estado 1 si las entradas tienen diferentes estados de señal (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque XOR B088 de la figura 26.

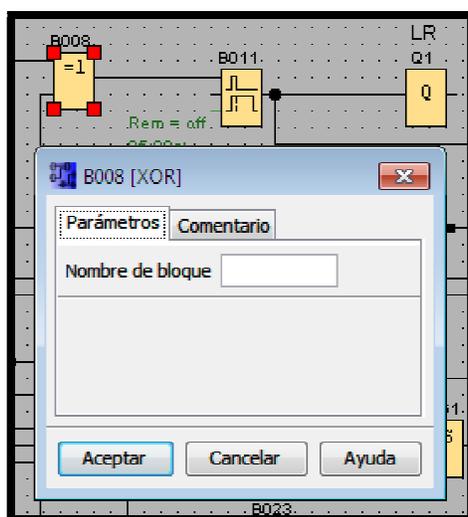


Figura 26.- Ejemplo de aplicación tipo XOR – Funciones Básicas

Elaboración Propia

NOT  ya que adopta el estado 1 si la entrada tiene el estado 0 o está abierta por lo que invierte dicho estado eliminando la necesidad de contactos normalmente cerrados (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque NOT B062 que se indica en la figura 27.

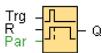


Figura 27.- Ejemplo de aplicación tipo NOT – Funciones Básicas

Elaboración Propia

Las funciones especiales  se emplearon ya que se deseaba posicionar funciones adicionales como remanencia o comportamiento de tiempo en la interface de programación.

De la parte de temporizadores del programa Logo Soft Comfort se emplearon los siguientes bloques:

Retardo a la desconexión  ya que se necesitó que la señal de salida se desactive tras un tiempo determinado (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo bloque de retardo a la desconexión 010 indicado en la figura 28, cuya función era retardar el tiempo para que se desenclave el contactor de la resistencia.

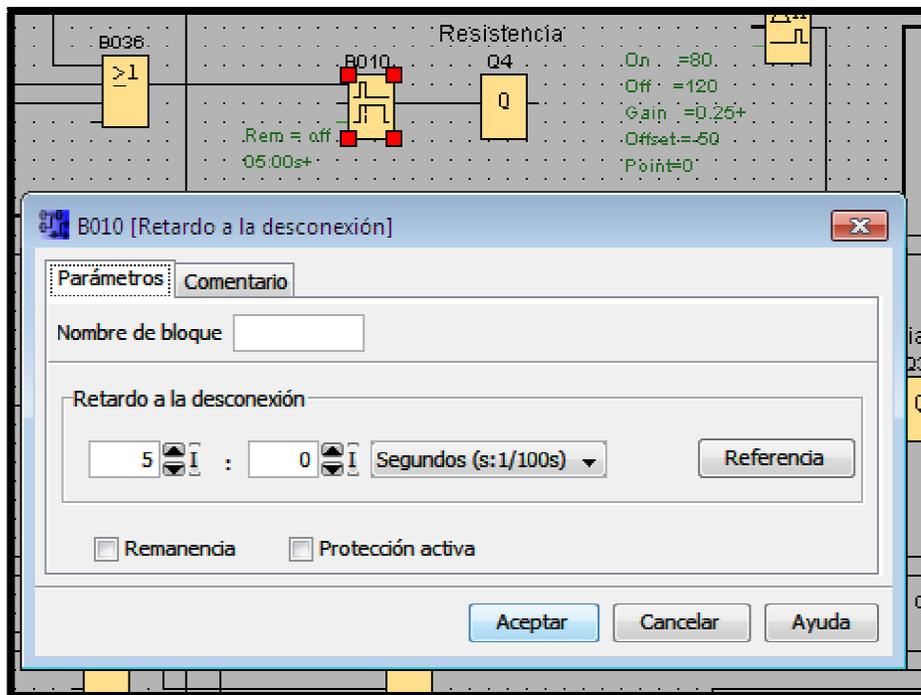
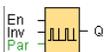


Figura 28.- Ejemplo de aplicación tipo Retardo a la Desconexión – Temporizadores – Funciones Especiales

Elaboración Propia

Generador de impulsos asíncrono  donde la forma de impulso de salida puede modificarse mediante una reacción impulso/pausa configurados (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo bloque de generador de impulsos asíncrono B007 indicado en la figura 29, que se empleó para el tiempo de funcionamiento y tiempo de para de la máquina para la función que permite la operación en la noche.

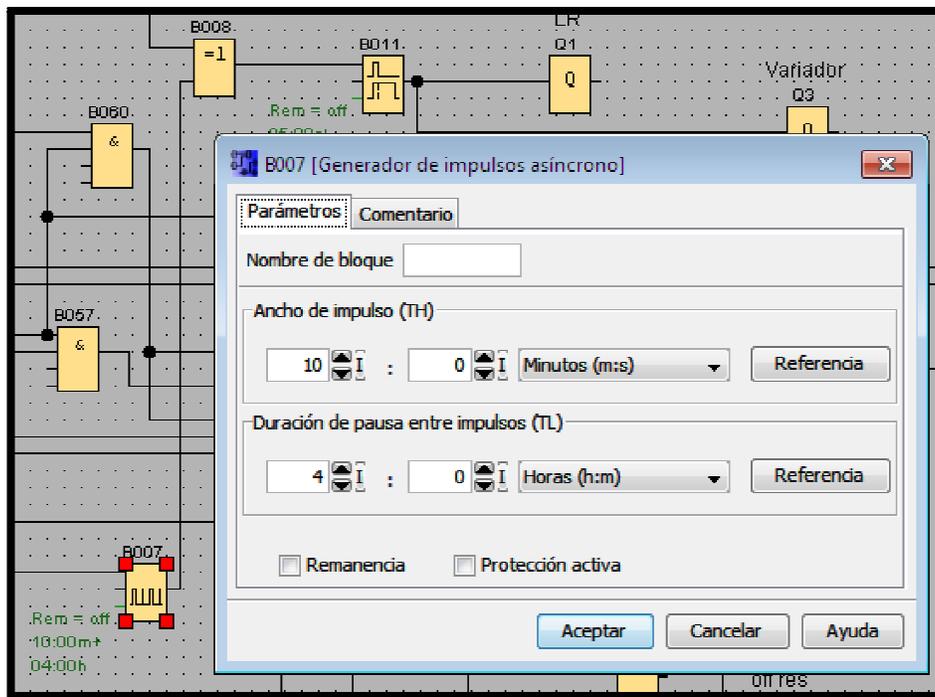
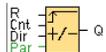


Figura 29.- Ejemplo de aplicación tipo Generador de Impulsos Asíncrono – Temporizadores – Funciones Especiales

Elaboración Propia

De la sección de contadores del programa Logo Soft Comfort se emplearon los siguientes bloques:

Contador adelante/atrás  donde según la parametrización empleada, un impulso de entrada incrementa o disminuye un valor de contaje interno, y la salida se activa o desactiva cuando se alcanza un umbral configurado (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de contador adelante/atrás B019 indicado en la figura 30.

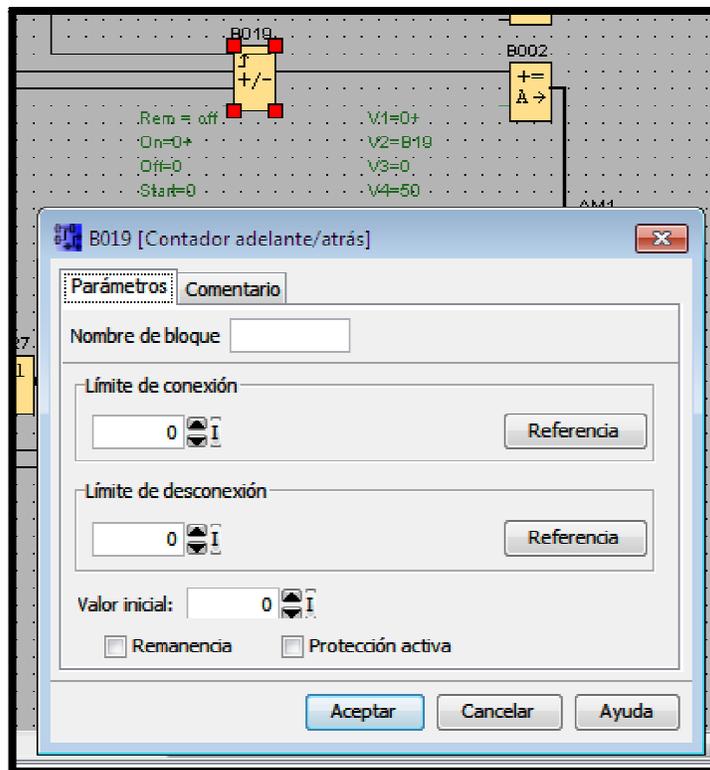


Figura 30.- Ejemplo de aplicación tipo Contador Adelante/Atrás – Contadores – Funciones Especiales

Elaboración Propia

De la sección de analógicos del programa Logo Soft Comfort se emplearon los siguientes bloques:

Comparador analógico  en el que la salida se activa y desactiva en función de Ax-Ay y de dos valores de umbral configurados (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de comparador analógico B020 para as PT100 indicado en la figura 31.

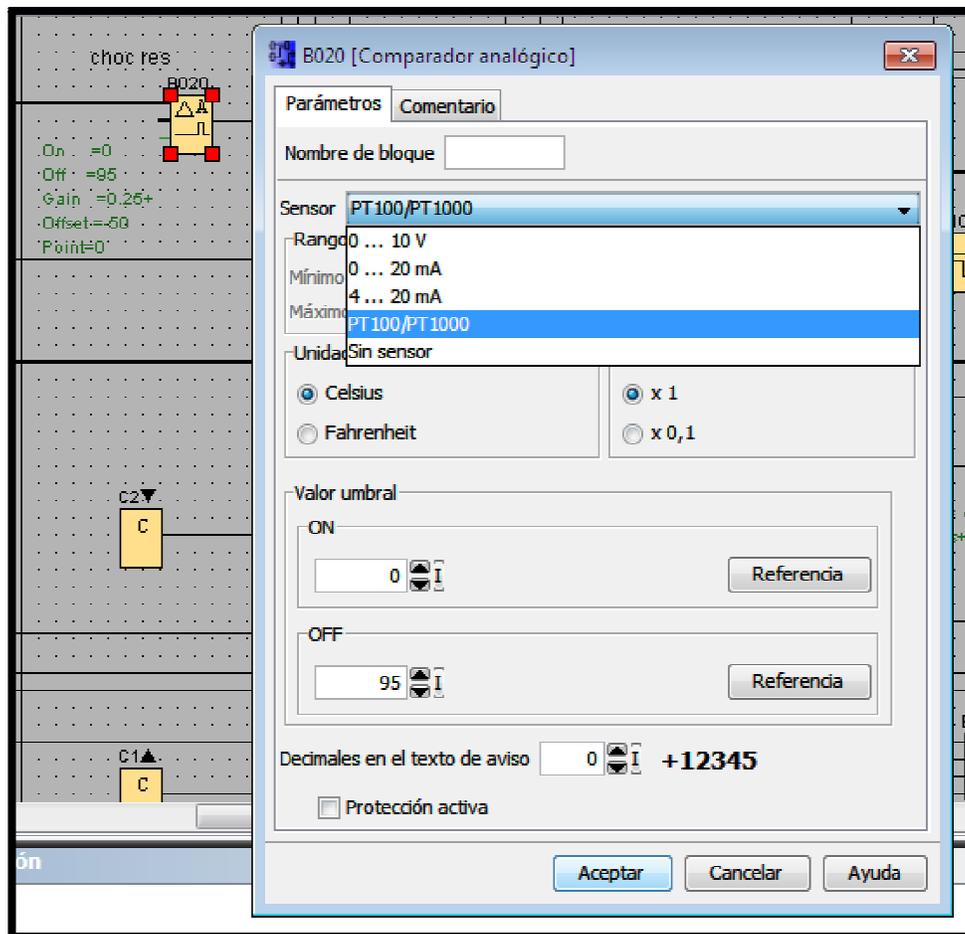


Figura 31.- Ejemplo de aplicación tipo Comparador Analógico – Analógicos – Funciones Especiales

Elaboración Propia

Instrucción aritmética  $\begin{matrix} \text{En} \\ \text{Par} \end{matrix} \begin{matrix} + \\ = \\ \hline \text{A} \end{matrix} \rightarrow \text{AQ}$  que calcula el valor AQ de una ecuación formada por operandos y operadores definidos por el usuario (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque B002 que se indica en la figura 32.

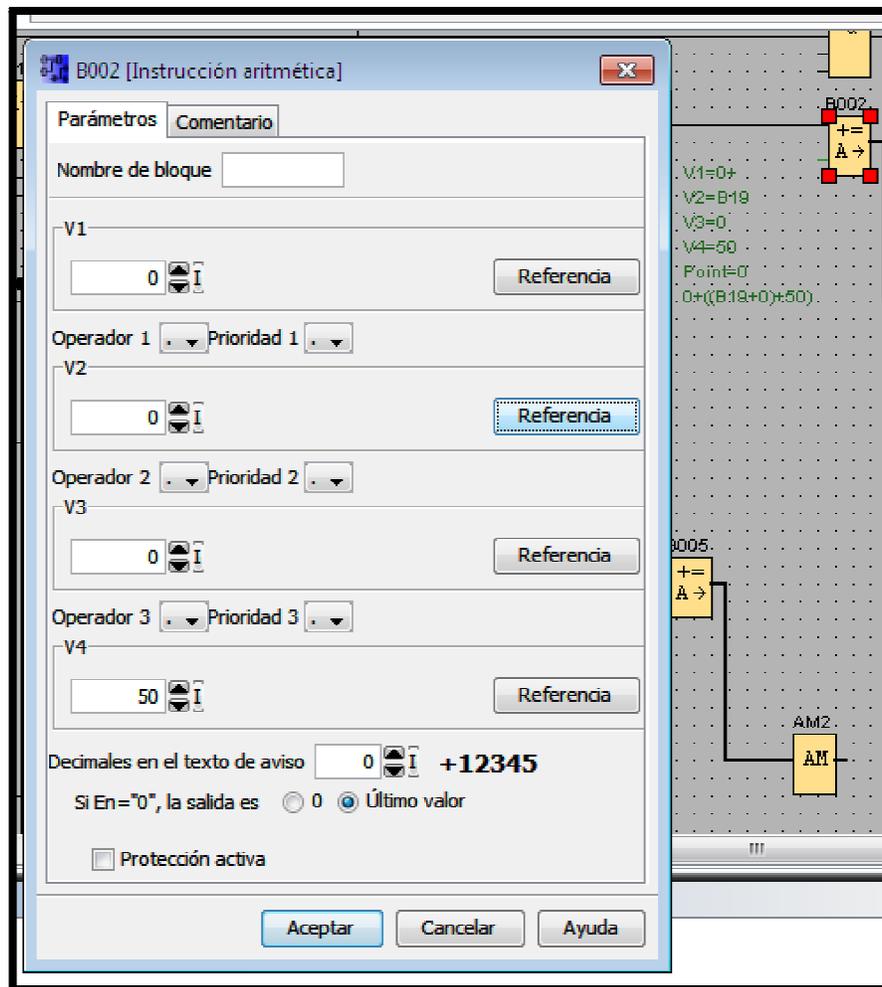


Figura 32.- Ejemplo de aplicación tipo Instrucción Aritmética – Analógicos – Funciones Especiales

Elaboración Propia

De la sección otros del programa Logo Soft Comfort se emplearon los siguientes bloques:

Relé auto enclavador  en el que una señal en la entrada S activa la salida Q y una señal en la entrada R desactiva la salida Q (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo el bloque de relé auto enclavador B061 de la figura 33.

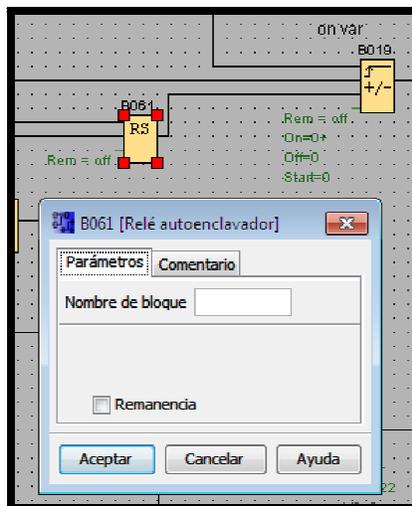


Figura 33.- Ejemplo de aplicación tipo Relé Auto enclavador – Otros – Funciones Especiales

Elaboración Propia

Texto de aviso  es una función que muestra textos de aviso y parámetros de otros bloques en el display integrado (pantalla) (LOGO Soft Comfort). Por ejemplo B003 de la figura 34.

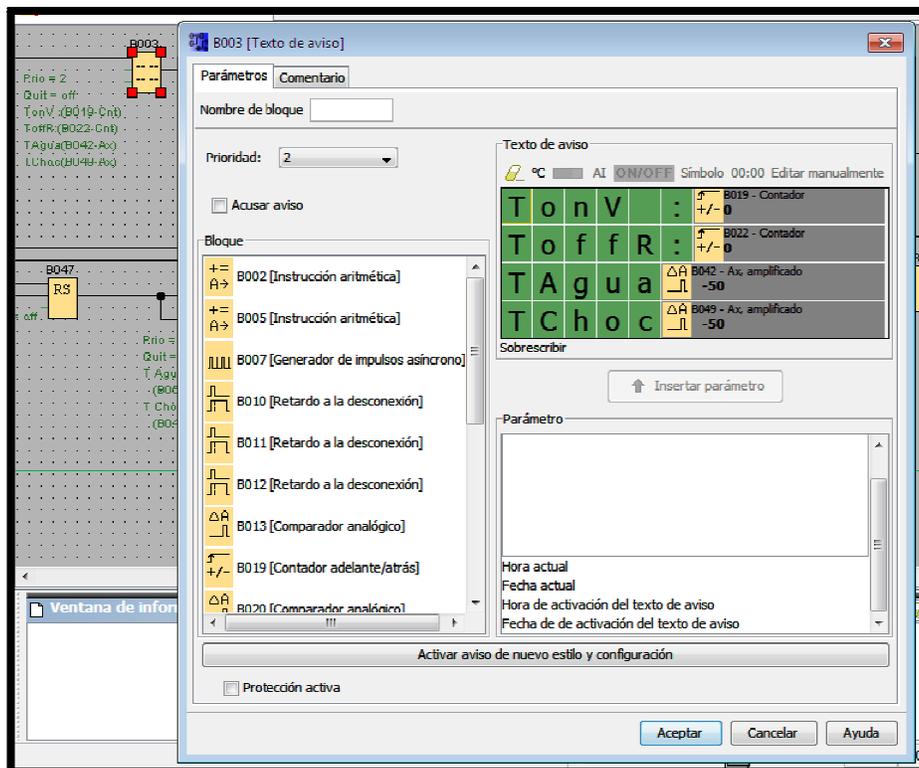


Figura 34.- Ejemplo de aplicación tipo Texto de Aviso – Otros – Funciones Especiales

Elaboración Propia

Además se realizaron ajustes internos del LOGO, como en el mensaje inicial de la pantalla que se aprecia en la figura 35, que aparece por unos segundos cuando se enciende la máquina.



Figura 35.- Ajuste de Pantalla Inicial del LOGO

Elaboración Propia

La lógica final del programa (se explica en el diagrama de flujo) y los componentes empleados en la programación (se detallan en el diagrama de control), los mismos que se encuentran en el Anexo A.

La programación final consta de tres funciones: F1, F2+F3 y F4, para cumplir los requerimientos de operación de la máquina; dichas funciones así como la respuesta de la máquina a las señales emitidas por el LOGO se detallan en la tabla 10.

Tabla 10.- Funciones de la programación que constan en la máquina para su operación

Elaboración Propia

<b>Funciones de Operación</b>	
<b>F1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es la función de modo automático independiente del tipo de chocolate para la operación durante el día, en el programa se asigna los rangos de valores para la temperatura del agua y del chocolate. Estos valores predeterminados que se establecen para los sensores son los que automáticamente emiten la señal para el encendido o apagado del motor, bomba y resistencia.</li> <li>• Al seleccionarla el usuario debe presionar el pulsador verde para arrancar con el funcionamiento de la máquina, con lo cual se activa la resistencia y la bomba.</li> <li>• Al llegar el chocolate a una temperatura asignada se enciende el variador, con lo cual el operador puede configurar la velocidad de agitación y el sentido de giro del sistema de agitación, con lo que se puede poner en marcha el motor eléctrico.</li> </ul>
<b>F2+F3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es la función de modo manual para la operación durante el día en la cual el operador, dependiendo del tipo de chocolate, puede asignar los valores para que se encienda el variador o se apague la resistencia.</li> <li>• Al seleccionarla el usuario debe presionar el pulsador verde para arrancar con el funcionamiento de la máquina, con lo cual se activa la resistencia y la bomba.</li> <li>• Al llegar el chocolate a una temperatura ingresada se enciende el variador, con lo cual el operador puede configurar la velocidad de agitación y el sentido de giro del sistema de agitación, con lo que se puede poner en marcha el motor eléctrico.</li> <li>• Al llegar el agua a una temperatura ingresada se apaga la resistencia.</li> </ul>
<b>F4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es la función de modo automático para la operación durante la noche.</li> <li>• Al seleccionarla el usuario debe presionar el pulsador verde para arrancar con el funcionamiento de la máquina, con lo cual se activa la resistencia y la bomba.</li> <li>• Al llegar el chocolate a una temperatura asignada se enciende el variador, con la velocidad de agitación y el sentido de giro del sistema de agitación programado (REV), además del motor eléctrico.</li> <li>• Al llegar el agua a una temperatura asignada se apaga la resistencia.</li> <li>• En esta función de la máquina, el variador y motor eléctrico operarán y se pararán por un tiempo determinado en la programación, sin embargo la bomba y resistencia se activarán automáticamente independiente del tiempo para mantener la temperatura del chocolate a una temperatura determinada.</li> </ul>

Una vez detalladas las funciones de operación de la máquina, es necesario indicar que independiente de la función con la que se trabaje, el sensor inductivo permitirá el funcionamiento del variador si la tapa está cerrada y parará la operación del sistema de agitación si se abre la tapa.

Al finalizar la programación que se indica en la figura 36, y, previo a la fase de pruebas de calibración y optimización de la máquina se ejecutaron diferentes simulaciones en el software Logo Soft Comfort para cada una de las funciones programadas; con lo cual se buscó: verificar que no existan errores en la lógica del programa, comprobar que se cumplió con lo establecido en los requerimientos de construcción, así como el comportamiento de cada equipo eléctrico instalado en la máquina al recibir la señal emitida desde el sistema de control en el proceso de automatización. Para ello se emplearon condiciones iniciales para representar y asumir algunas condiciones de trabajo establecidas en los requerimientos de funcionamiento.

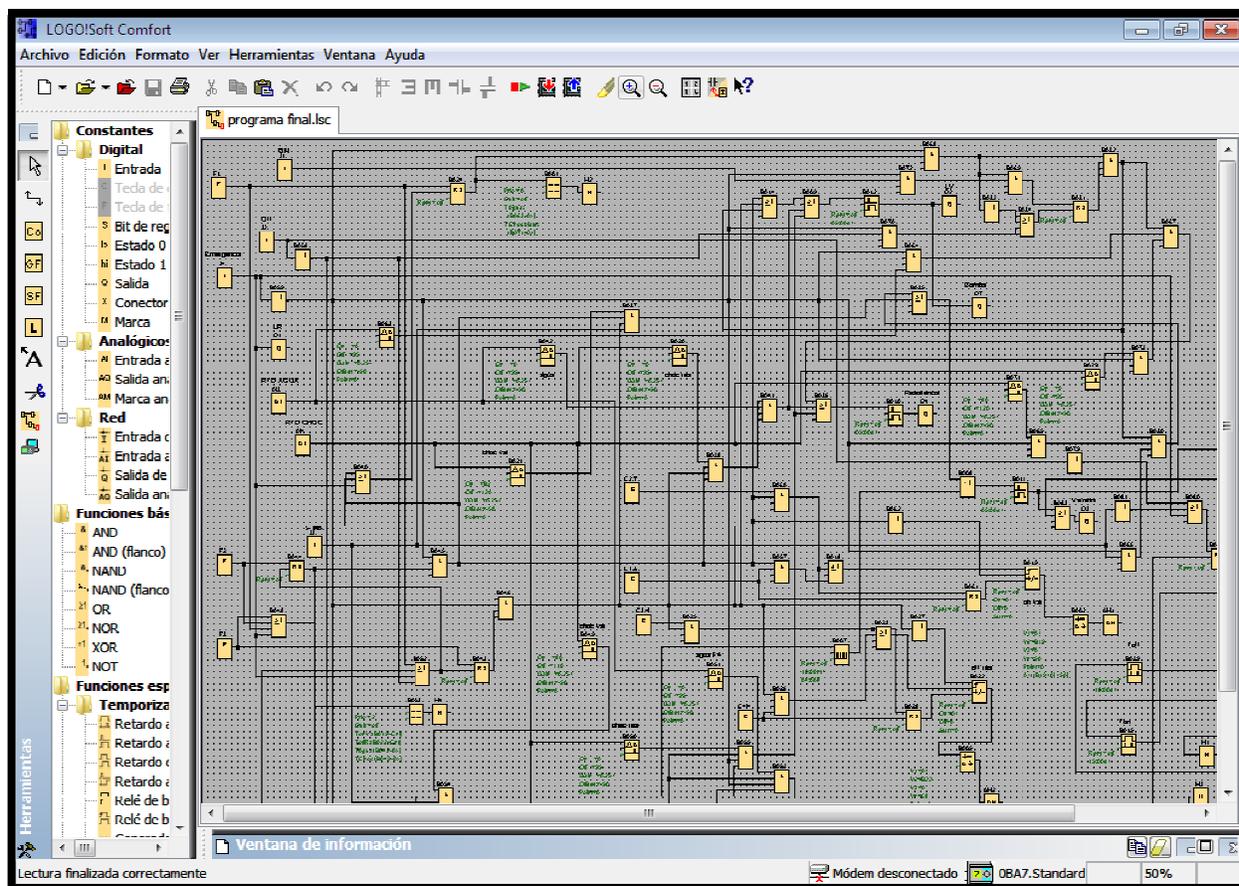


Figura 36.- Programa final de la máquina realizado en el software LOGO SoftComfort

Elaboración Propia

1. Para iniciar la simulación se presionó F3 en el teclado del ordenador o se asignó a través del ícono de la barra de herramientas, con lo que aparece la ventana de simulación; y posteriormente se iniciaba tras presionar el ícono verde indicado, como se observa en la figura 37.

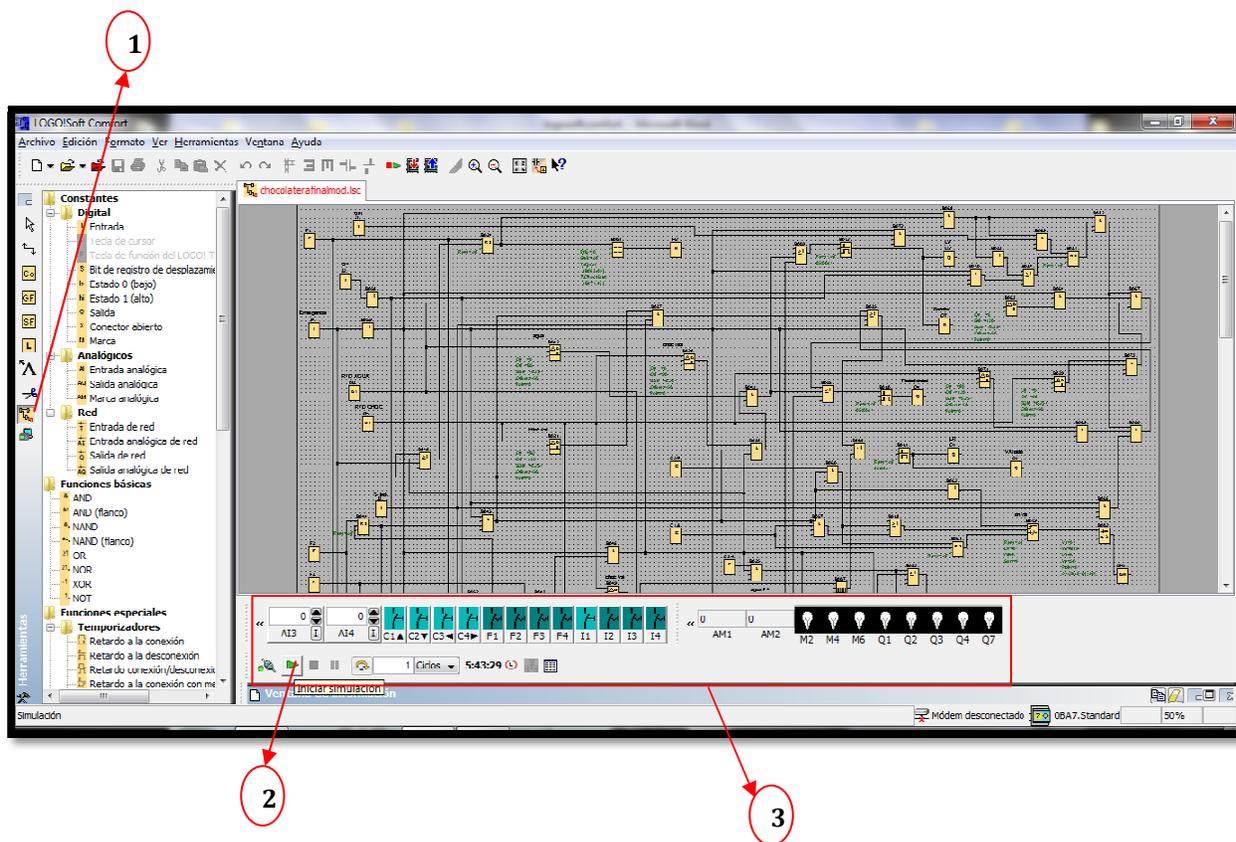


Figura 37.- Selección de simulación en Barra de Herramientas (1). Dar inicio de simulación (2). Ventana de simulación (3) en el programa en LOGO SoftComfort

2. Para seleccionar el modo de operación se eligió entre los íconos F1, F2+F3 o F4 como se observa en la figura 38, que son interruptores de la ventana de simulación que representan cada función programada que se detalló en la tabla 10.

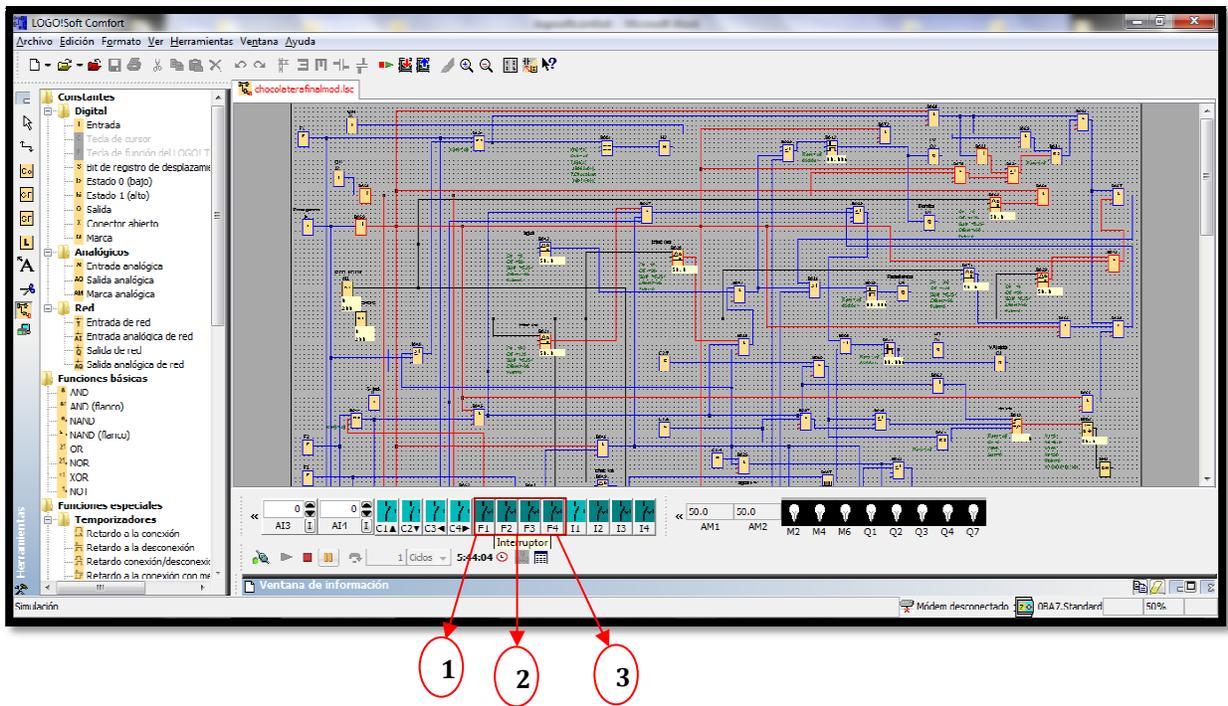


Figura 38.- Selección del modo de operación en la simulación del programa, al presionar el respectivo interruptor para cada simulación F1 (1), F2+F3 (2) o F4 (3)

3. Por ejemplo, al seleccionar F1, la función automática para el día, aparece la ventana donde se simula la pantalla y su contenido; además se puede apreciar el paso de señal entre los componentes del programa que se relacionan con dicha función, como se aprecia al comparar la figura 38 con la figura 39. El contenido de la pantalla de la función F1 es similar al de la función F4.

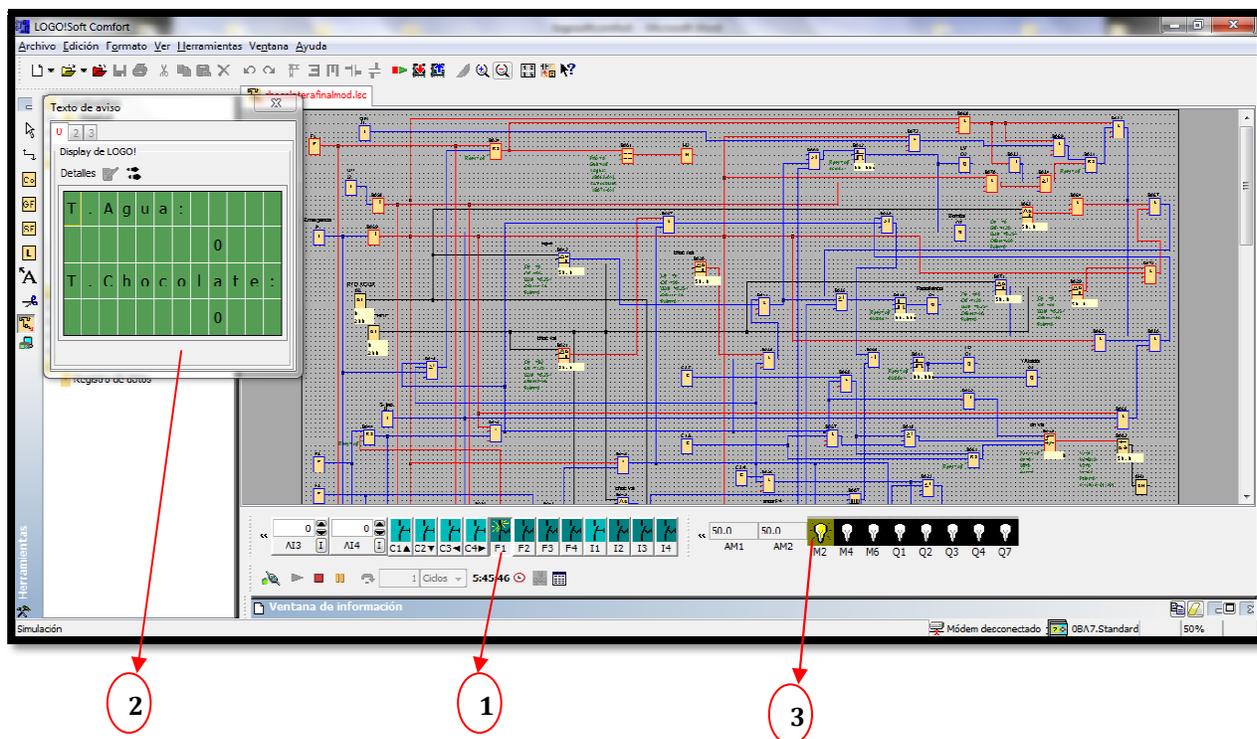


Figura 39.- Selección de la función F1 (1) en la simulación del programa. Texto de aviso (2). Luz indicadora de funcionamiento (3).

4. Por ejemplo, para la programación que permite asignar valores manuales a los sensores se debe presionar F2 y F3, con lo que aparece la ventana de texto de aviso que simula a la pantalla, como se indica en la figura 40.

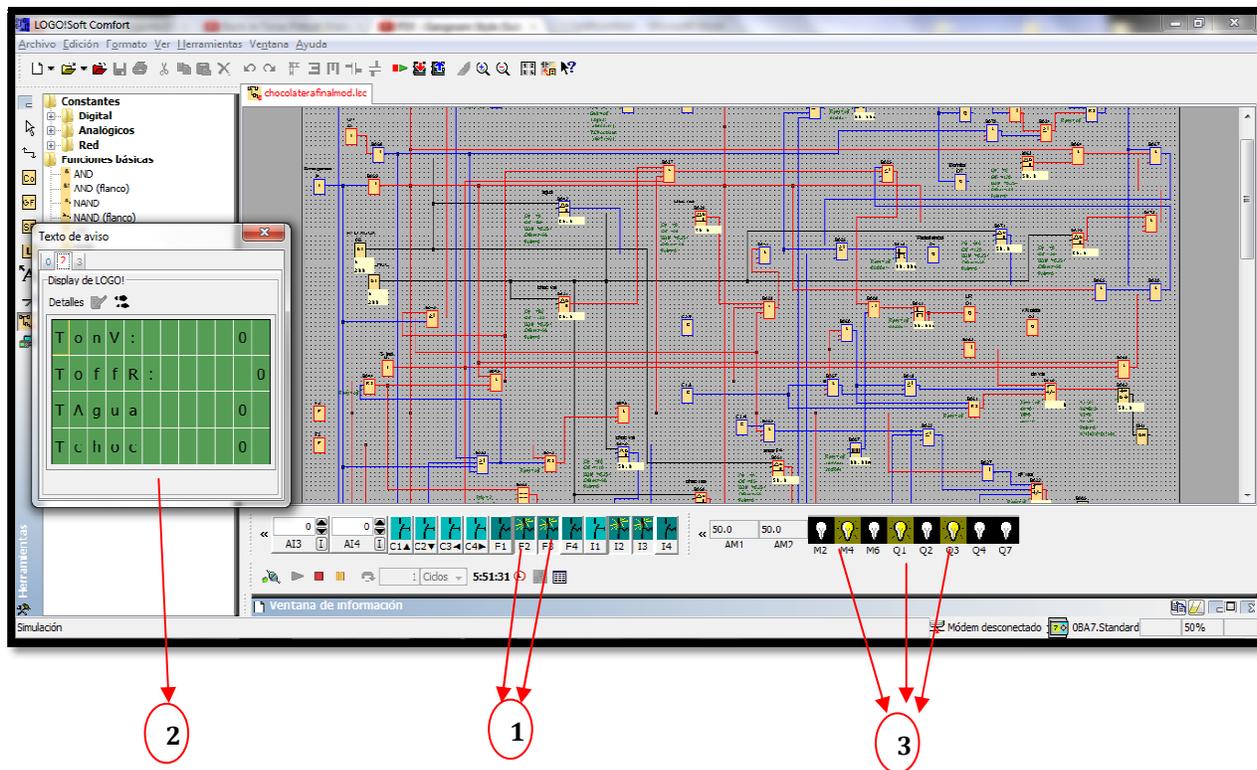


Figura 40.- Selección de la función F2 y F3 (1) en la simulación del programa. Ventana de texto de aviso (2), Luz indicadora de funcionamiento (3).

Al finalizar la primera simulación, se pudo concluir que las conexiones ente los bloques del programa no presentan errores, ya que existe una respuesta coherente (por parte del programa) frente a cada señal emitida por los pulsadores o teclas; lo cual se puede apreciar por el cambio de color de rojo (paso de señal) a azul (sin señal).

**5. CAPITULO V.- Optimización del Programa Creado Para la  
Automatización de la Máquina Fundidora de Chocolate**

## 5.1. Simulación del Programa

Previo al inicio de las pruebas reales (que se detallan en la sección 5.2), se realizó una última simulación del programa para diferentes escenarios: para la operación durante el día se empleó la función F1, modo automático para el día, tras presionar el ícono I1 (pulsador ON). Además, para que se emita la señal en el programa, se activó I2 (pulsador OFF) e I3 (sensor inductivo de la tapa), asumiendo las siguientes condiciones iniciales de funcionamiento  $T_{H_2O}=39^{\circ}\text{C}$  y  $T_{\text{Chocolate}}=38^{\circ}\text{C}$ .

En la figura 41 se puede apreciar cómo se encienden las luces indicadoras siendo: M2 (pantalla para F1), Q1 (luz roja – variador listo), Q2 (luz verde – bomba de agua y resistencia listas), Q3 (variador encendido), Q4 (resistencia encendida), Q7 (bomba de agua encendida). Por otra parte se puede visualizar que el indicador I4 (pulsador de emergencia) está desactivado al igual que las luces indicadoras M4 (pantalla para F2+F3) y M6 (pantalla para F4).

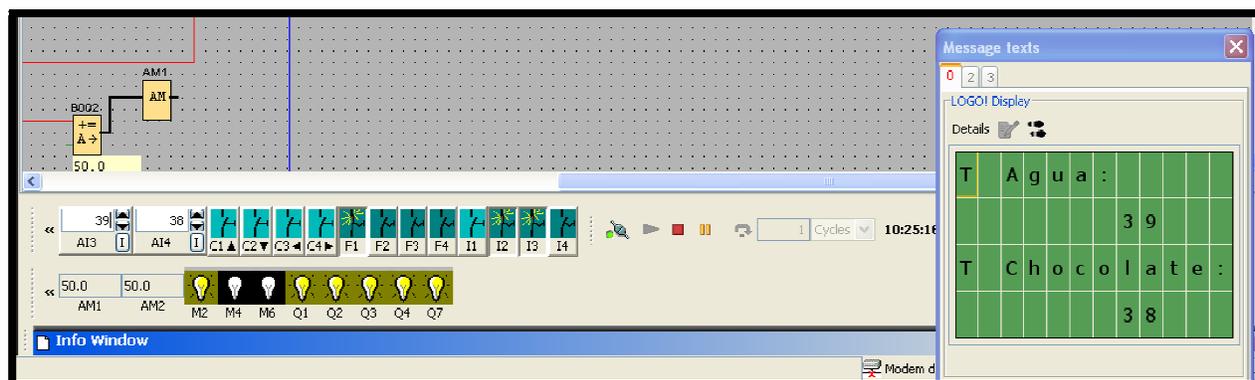


Figura 41.- Selección de la función F1 en la simulación para pruebas

Elaboración Propia

Al verificar que las señales emitidas por el programa fueron las deseadas al simular el inicio del funcionamiento u operación de la máquina, se procedió con el primer escenario, para ello se incrementaron los valores de la lectura de los sensores de temperatura a  $T_{H_2O}=45^{\circ}\text{C}$  y  $T_{\text{Chocolate}}=38^{\circ}\text{C}$ , con lo cual se simuló un incremento en la temperatura del agua en el reservorio. El comparar las figuras 42, 43 y 44 se puede observar que al llegar el agua a una temperatura asignada se inicia el contador en el cual al transcurrir 5 segundos y se apaga la resistencia.

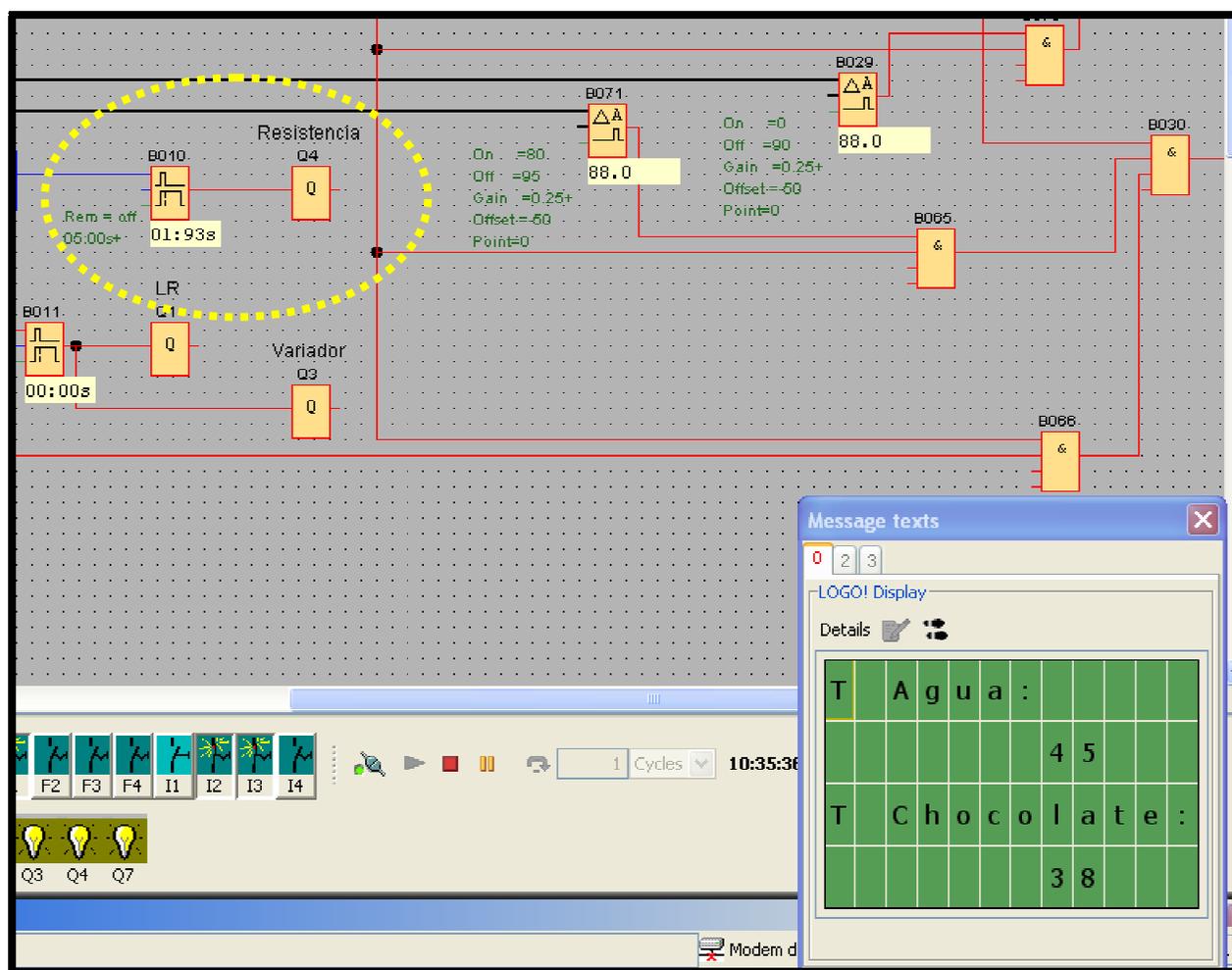


Figura 42.- Señal emitida por el sensor de temperatura de agua, inicia contador para apagar la resistencia en la función F1 al llegar a la temperatura asignada – 1

Elaboración Propia

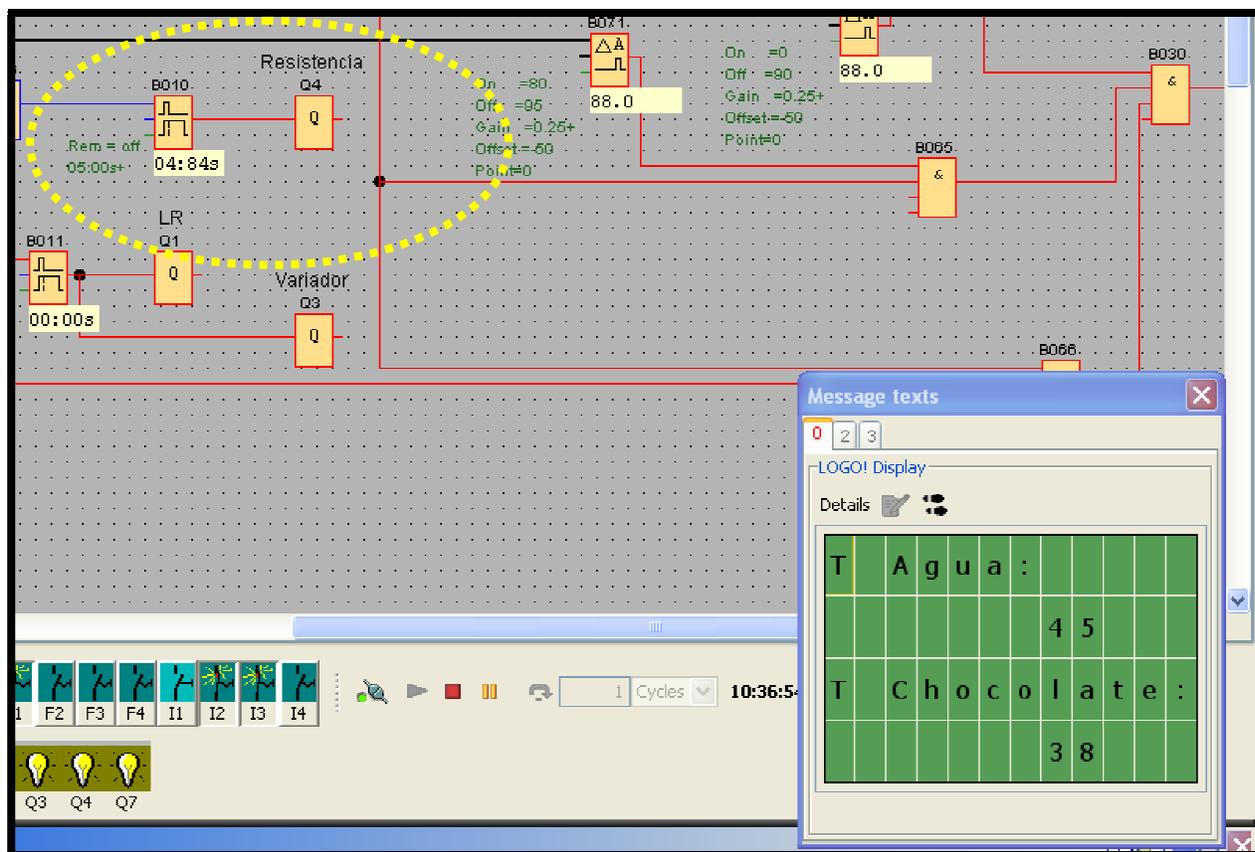


Figura 43.- Señal emitida por el sensor de temperatura de agua, inicia contador para apagar la resistencia en la función F1 al llegar a la temperatura dada – 2

Elaboración Propia

En la figura 44 se puede apreciar que tras transcurrir los 5 segundos se corta la señal emitida desde el LOGO hacia la resistencia (cambio de color en la línea de conexión entre los bloques, de rojo a azul), con lo que se apaga la misma, la cual se reactivará automáticamente cuando la temperatura del agua sea menor a la asignada. Sin embargo, cabe recalcar que esto es una simulación mientras que en la realidad la señal será emitida al contactor el cual se encargará de permitir o cortar el paso de corriente eléctrica a la resistencia con lo cual se enciende o apaga la misma.

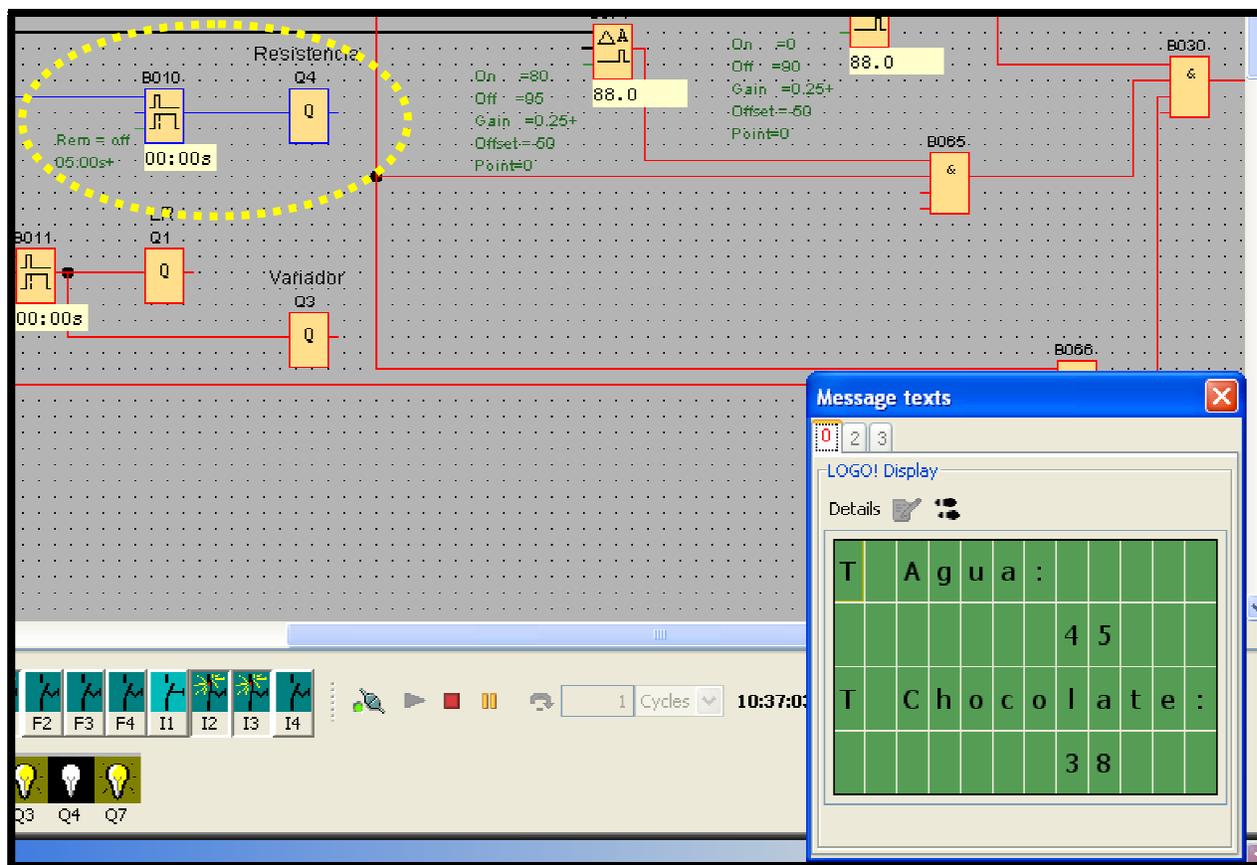


Figura 44.- Resistencia se apaga luego de que transcurran 5 segundos en el contador

Elaboración Propia

Considerando otro escenario para la simulación, si se abre la tapa se puede apreciar que se elimina la señal del sensor en I3, con lo que se inicia un nuevo contador, que tras 5 segundos se apaga la señal al variador; lo cual se puede apreciar al comparar las figuras 45 y 46. Además ésta simulación se realizó con los siguientes valores de las temperaturas  $T_{H_2O}=41^{\circ}\text{C}$  y  $T_{Chocolate}=39^{\circ}\text{C}$ , que fueron asignados como condiciones iniciales.

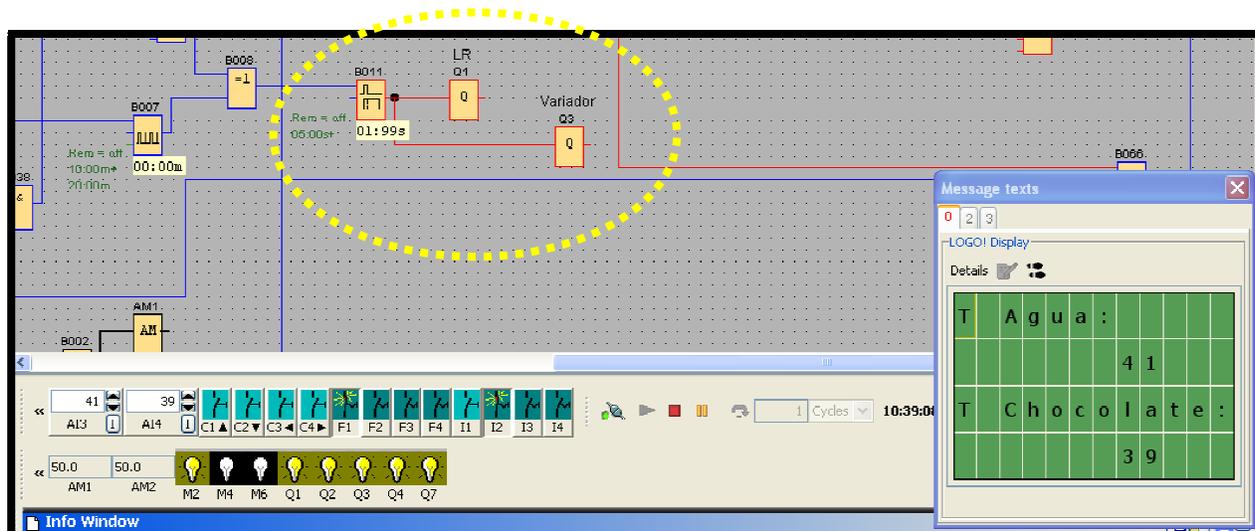


Figura 45.- Señal emitida inicia contador para apagar el variador en la función F1 al abrir la tapa – 1

Elaboración Propia

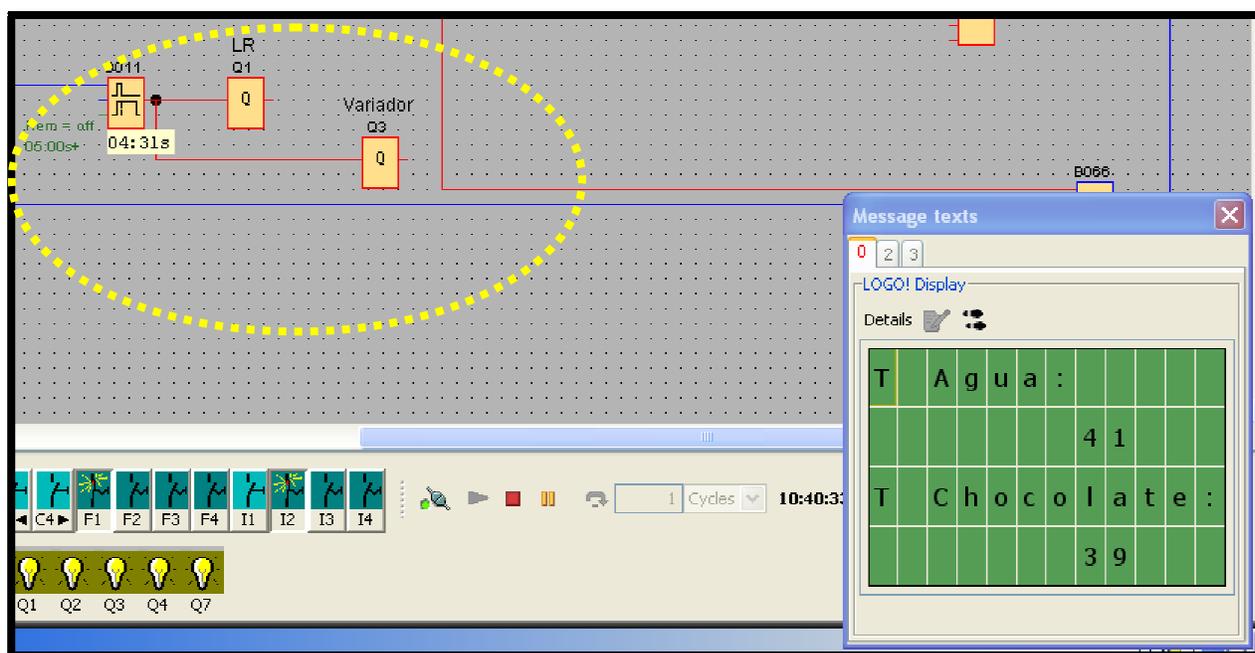


Figura 46.- Señal emitida inicia contador para apagar el variador en la función F1 al abrir la tapa – 2

Elaboración Propia

En la figura 47 se puede apreciar que tras transcurrir los 5 segundos se corta la señal emitida desde el LOGO hacia el variador (cambio de color en las líneas de rojo a azul), con lo que se apaga el mismo, el cual se reactivará automáticamente cuando la tapa se cierre y el sensor detecte al metal. Sin embargo, cabe recalcar que esto es una simulación mientras que en la realidad la señal será emitida al contactor el cual se encargará de permitir o cortar el paso de corriente eléctrica al variador con lo cual se enciende o apaga la misma.

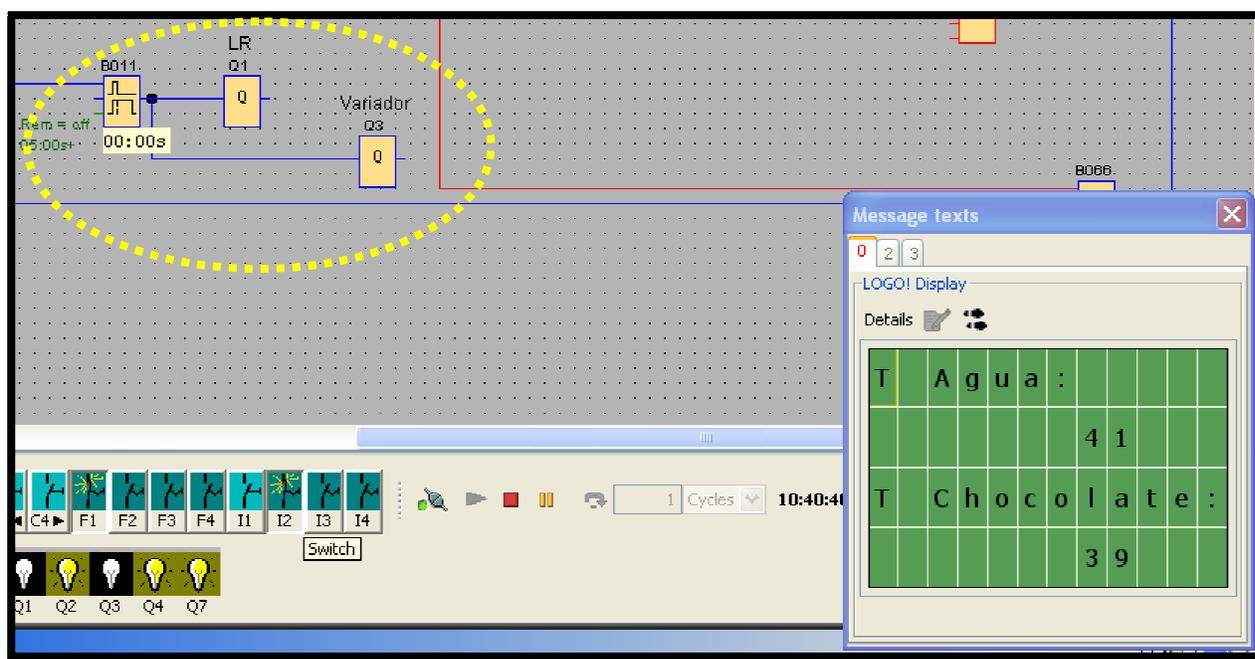


Figura 47.- Variador se apaga luego de que transcurran 5 segundos en el contador

Elaboración Propia

Por otra parte, asumiendo un escenario en el que se presione el pulsador OFF, se elimina la señal de I2 y se inicia el contador con lo que transcurren 5 segundos, como se observa en la figura 48, para que se apague el sistema por completo.

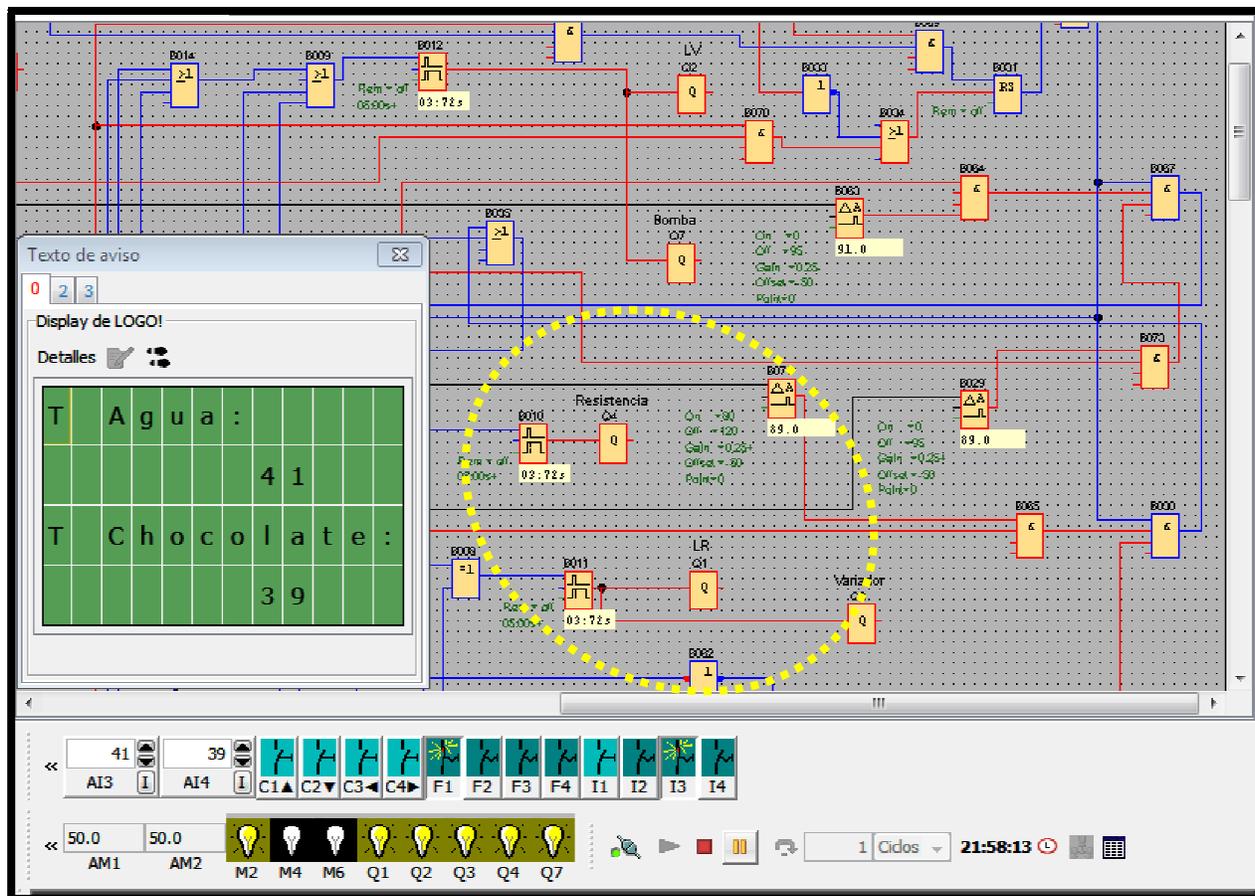


Figura 48.- Se inicia contador como respuesta al presionar el Pulsador OFF en la función F1 – 1

Elaboración Propia

En la figura 49 se puede observar que al transcurrir los 5 segundos (cambia el color de las líneas de rojo a azul), se elimina la señal del logo hacia la bomba de agua, variador de velocidad y resistencia del reservorio de agua, así como a sus respectivas luces indicadoras.

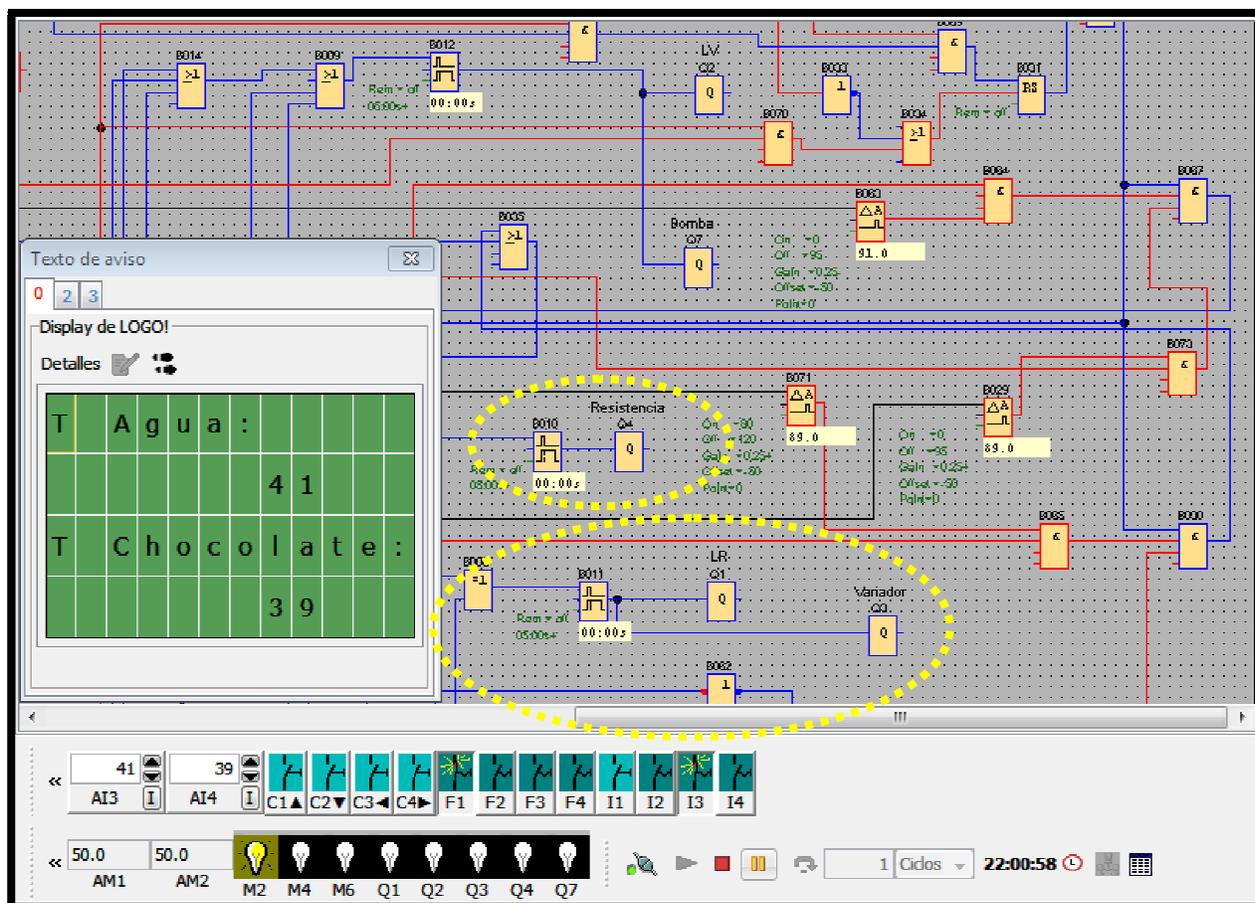


Figura 49.- Luego de 5 segundos en el contador se apagan los componentes al presionar el Pulsador OFF en la función F1 – 2  
Elaboración Propia

De igual manera, asumiendo el escenario en el que el usuario presione el pulsador de emergencia, se elimina la señal de I4 con lo que inicia el contador y al transcurrir 5 segundos se apagará el sistema, como se observa en la figura 50.

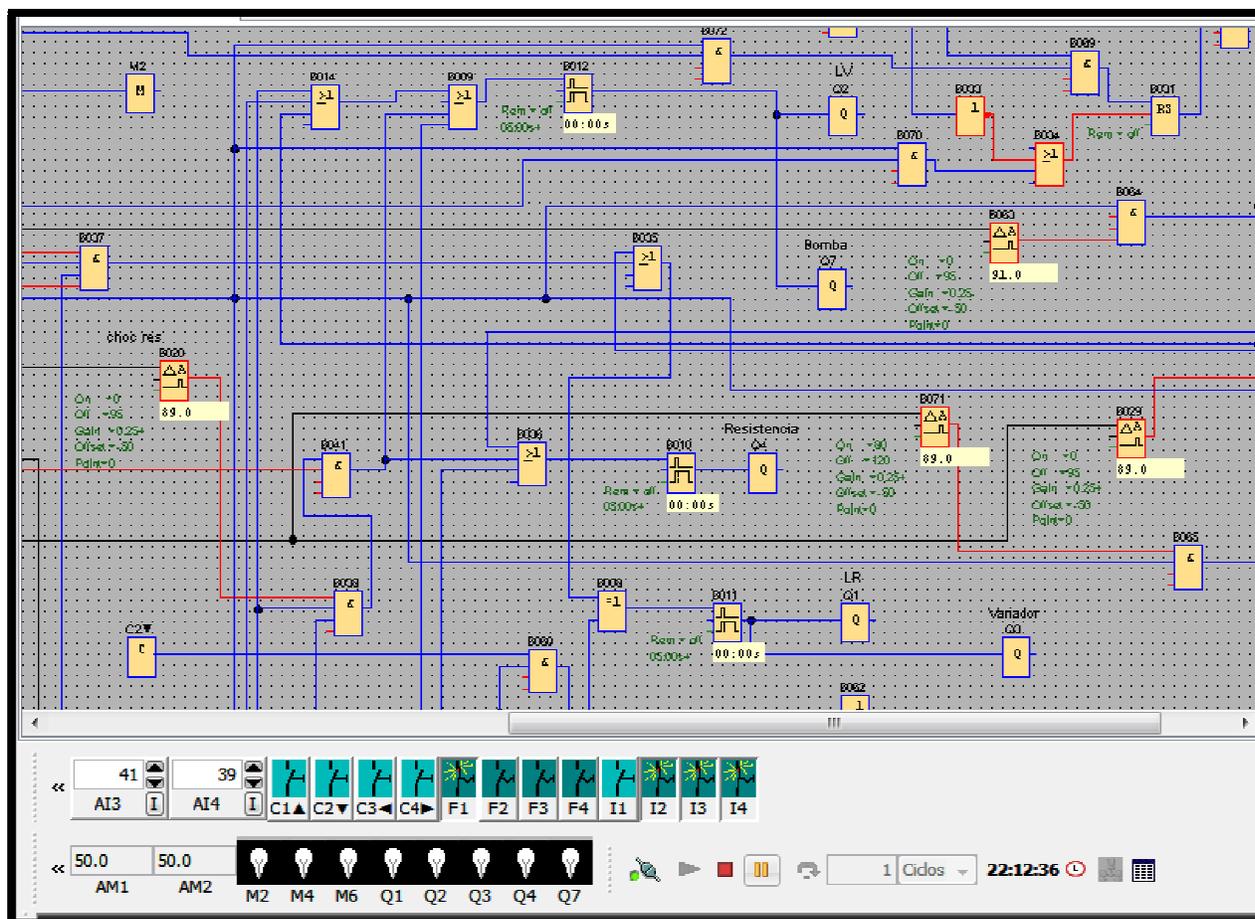


Figura 50.- Se inicia contador como respuesta al presionar el Pulsador de Emergencia en la función F1 – 1

Elaboración Propia

Finalmente, al ver los resultados de la simulación para diferentes posibles escenarios de operación, se concluyó que el programa podía ser descargado a la máquina luego de verificar el correcto funcionamiento del programa, señal de sensores y tiempos de funcionamiento, se procedió a descargar el programa desde la PC al LOGO como se observa en las figuras 51 y 52.



Figura 51.- Conexión PC – LOGO para descargar el programa

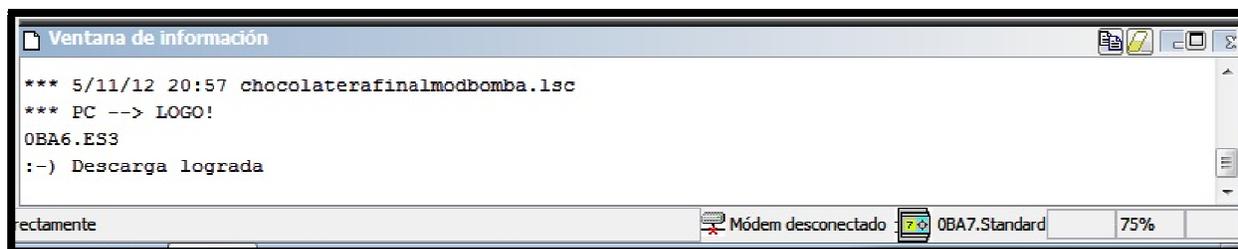


Figura 52.- Mensaje que indica una correcta descarga del programa PC a LOGO

## 5.2. Pruebas de Operación y Funcionamiento de la Máquina

Una vez descargado el programa en el LOGO para la automatización, se procedió a realizar las pruebas de operación y funcionamiento de la máquina fundidora de chocolate con el fin de cumplir con los requerimientos necesarios para la entrega de la misma. Para ello se efectuó una prueba de 56 horas continuas de fundición de chocolate, en las cuales se ejecutó la calibración del programa de la máquina asumiendo diferentes condiciones de trabajo durante el día y la noche, las cuales se detallarán a lo largo del capítulo.

La calibración técnica implicó correr los tres tipos de programas/funciones establecidas en el logo de la máquina los (as) cuales se detallan en la tabla 11; así mismo, las condiciones iniciales bajo las que se realizaron las pruebas se explican en la tabla 12. Los datos tabulados de la calibración y de las pruebas de la máquina se encuentran detallados en el Anexo B.

Tabla 11.- Detalles de la calibración para cada función de la automatización

Elaboración Propia

<b>Calibración de las Funciones</b>	
<b>F1 (opción 1 para el día)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al ser una función independiente del tipo de chocolate con el que se trabaje, los valores que se asignaron a las señales emitidas por los sensores son los mismos que durante las pruebas de calibración aseguraron que cualquier tipo de chocolate de calidad o temperado no va a perder sus propiedades el proceso de fundición y mezcla, por eso fue necesario determinar los tiempos de lectura de los sensores para diferentes cantidades de chocolate colocados en la máquina fundidora.</li> </ul>
<b>F2+F3 (opción 2 para el día)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a que el operador de la máquina va a asignar los valores dependiendo del tipo de chocolate con el que se trabaje, fue necesario durante las pruebas de calibración de la máquina comparar los valores de fundición obtenidos por los sensores de la máquina con los que se han encontrado en la literatura; esto permitió asignar una temperatura equivalente, entre la señal emitida por los sensores de temperatura dependiente del tiempo de fundición en la máquina con la temperatura que conoce el usuario.</li> <li>A pesar de ser una función de modo manual, al igual que F1, fue necesario realizar la calibración para evitar que el chocolate fundido supere la temperatura en la que pierda su calidad.</li> </ul>
<b>F4 (para la noche)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al ser una función de modo automático igual que la F1 y F2+F3, se realizó la calibración para evitar que el chocolate fundido supere una temperatura en la que pierde su calidad.</li> <li>Por otro lado, considerando que dentro de los requerimientos la máquina no puede funcionar continuamente durante la noche debido al costo de operación que esto implica. Es por eso que fue indispensable realizar pruebas variando el tiempo de funcionamiento de la máquina y variando el tiempo de parada de la misma.</li> <li>Además se consideró que en la noche, las condiciones de funcionamiento cambian; siendo la temperatura del ambiente con el tiempo de funcionamiento y parada de la máquina las más importantes; ya que fue necesario controlar los tiempos para mantener fundido el chocolate y evitar el proceso de solidificación del mismo, con lo cual se garantiza que al arrancar el motor no se forzará el sistema de agitación y no se corre el peligro de generar un daño en el sensor del chocolate.</li> </ul>

Tabla 12.- Condiciones de trabajo con las que se realizaron las pruebas

Elaboración Propia

<b>Condiciones para las Pruebas</b>	
Parámetros establecidos en la programación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T_{H_2O} = T_{Chocolate} = 45^{\circ}C</math> para apagar la bomba de agua y resistencia en F1 y F4.</li> <li>• <math>T_{Chocolate} = 30^{\circ}C</math> para encender variador de velocidad en F1 y F4.</li> <li>• Contador de 5 segundos para apagar cualquier componente.</li> <li>• Con F4 funciona 10 minutos la máquina y se para por 2 horas</li> </ul>
Cantidad de Chocolate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicialmente con 5kg de mezcla de chocolate: 2 kg de chocolate amargo, 2 kg de chocolate de cobertura y 1 kg de chocolate dulce; como se indica en la figura 53.</li> <li>• Posteriormente se agregaron 10 kg de gotas dulces de chocolate; como se indica en la figura 54.</li> </ul>



Figura 53.- Cantidad inicial de chocolate fundido 5 kg



Figura 54.- Gotas de chocolate dulce que se adicionaron, 10 kg (1), Colocando el chocolate (2), Chocolate en el cilindro (3)

### 5.3. Resultados de las Pruebas y Calibración de la Máquina

La prueba inicial se desarrolló para asegurar que no existiera falla en la lectura entre la señal emitida por las RTD, el LOGO y lo que aparezca en la pantalla al probar las funciones F1 – modo automático día (figura 55), F2+F3 – modo manual día (figura 56) y F4 – modo automático noche (figura 57).

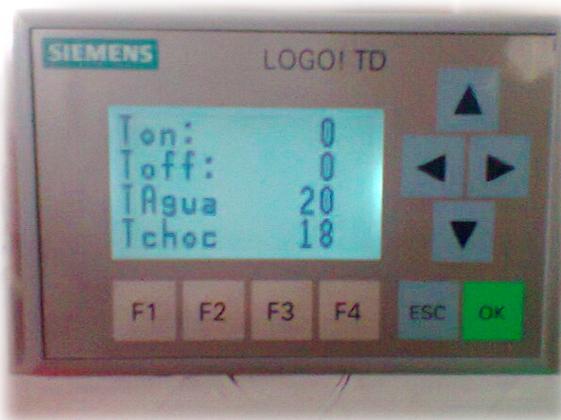


Figura 55.- F2+F3: Temperatura a los 2 minutos de iniciar la prueba

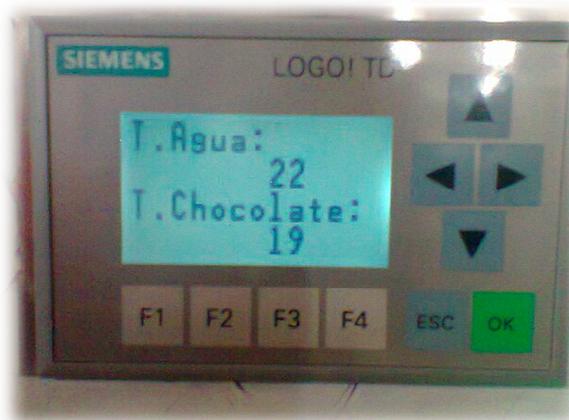


Figura 56.- F1: Temperaturas del agua y del chocolate a las 12:33

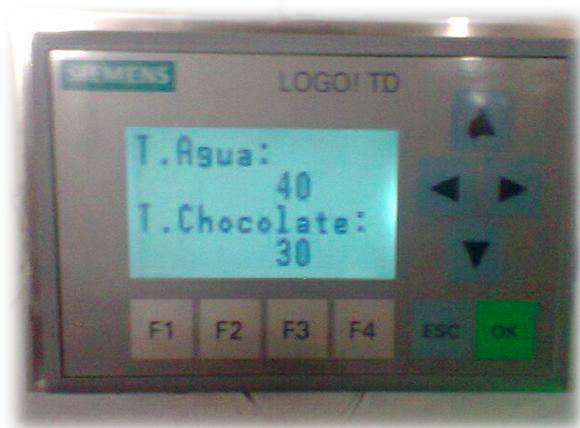


Figura 57.- F4: Temperaturas del agua y del chocolate a las 15:14

En la prueba inicial se comprobó que debido a la solidificación del chocolate en el fondo del cilindro, como se observa en la figura 58, el proceso de fundición tardó más de 6 horas, razón por la cual no se pudo encender el motor hasta que se encuentre más del 90% del chocolate fundido, ya que si se encendía el motor se corría el riesgo de que el sensor de temperatura sufriera alguna avería.



Figura 58.- Chocolate solidificado en el fondo (1), muestra de chocolate solidificado (2)

En la figura 59 se puede observar que en la prueba inicial de la máquina, el incremento de la temperatura del agua  $T_{H_2O}$  fue de  $1^\circ\text{C}$  cada 2 minutos, mientras que en 3 horas el incremento de la temperatura del chocolate  $T_{chocolate}$  fue de  $16^\circ\text{C}$ . Es necesario mencionar que a las 13:02 se paró la operación para verificar si el chocolate perdía temperatura, posteriormente se reinició a las 15:02, es por eso que se tuvo una variación en la temperatura del agua (descenso); más no en la del chocolate, debido a que por la transferencia de calor el chocolate en las caras internas del cilindro continuó su proceso de fundición. Además, en la figura 59, se puede apreciar que cuando el agua alcanzó una temperatura de  $46^\circ\text{C}$ , se paró la máquina, es por eso el descenso de temperatura del agua; y a las 15:56 se finalizó la prueba inicial.

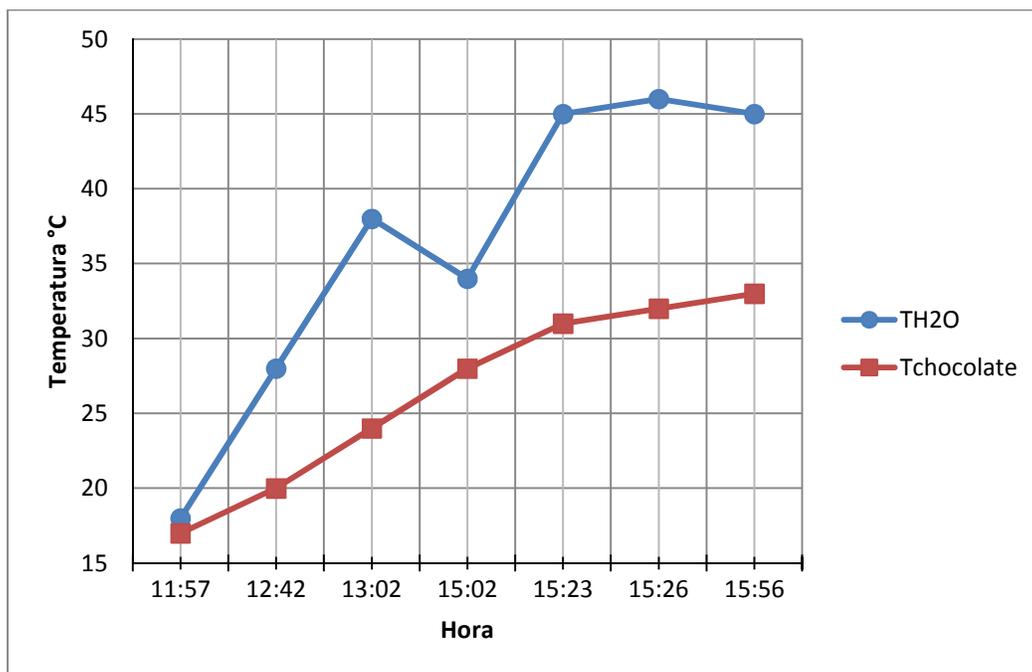


Figura 59.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba N° 1

Elaboración propia

La Prueba y Calibración N°1 inició a las 9:46 con los siguientes valores de temperatura:  $T_{H_2O}=19^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=18^{\circ}C$ ; dando inicio a las 56 horas continuas de prueba. A las 10:39 se detuvo el funcionamiento de la máquina, para comparar el estado del chocolate que se encontraba en la cara interna del cilindro con el que se encontraba en los raspadores, lo que se puede apreciar al comparar las figuras 60 y 61; observando claramente la diferencia de contextura del chocolate, debido a que aún no se había iniciado el sistema de agitación ya que todo el chocolate no estaba completamente fundido.



Figura 60.- Chocolate fundido tomado del cilindro

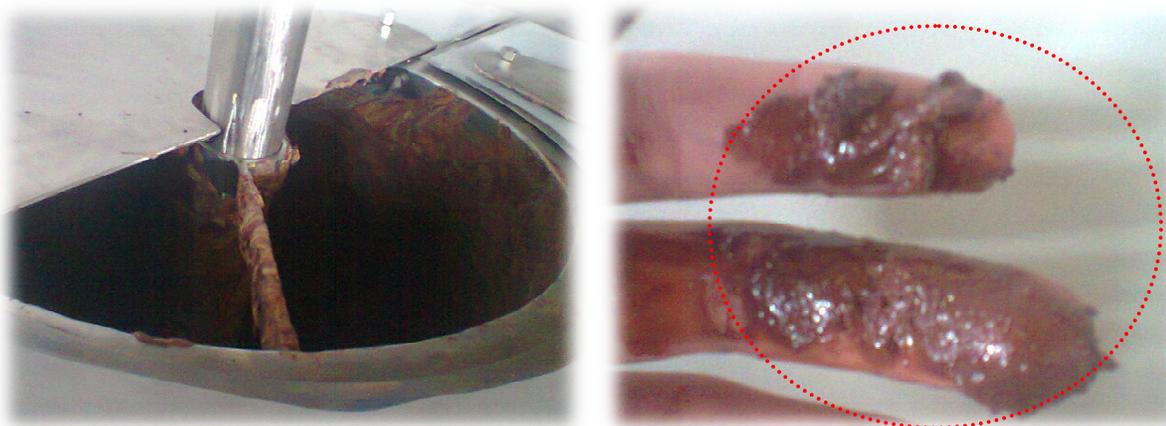


Figura 61.- Chocolate fundido tomado del sistema de agitación

En la figura 62 se puede apreciar que el incremento de la temperatura del agua tiene una tendencia lineal, a diferencia de la temperatura del chocolate, la misma que incrementa  $1^{\circ}\text{C}$  luego de que la temperatura del agua incremente  $3^{\circ}\text{C}$ .

Además, en esta prueba se pudo observar que a las 10:06, cuando el chocolate alcanzó una temperatura mayor a los  $20^{\circ}\text{C}$  inició un leve proceso de fundición. Posteriormente, se detuvo la prueba a las 10:37 para que se estabilicen las temperaturas; y a las 11:14 cuando se finalizó esta prueba, con la ayuda de un termómetro, se comprobó que la  $T_{\text{chocolate}}$  no es exactamente la del chocolate en las paredes y la  $T_{\text{H}_2\text{O}}$  no es la de la cilindro; existiendo una variación de  $+3^{\circ}\text{C}$  a la que se indicaba en la pantalla.

Finalmente, se concluyó que existe la necesidad de realizar una modificación en el programa para que cuando  $T_{\text{H}_2\text{O}} > 45^{\circ}\text{C}$  se apague la bomba de agua y la resistencia; lo que asegura que el chocolate fundido no pierda su calidad al ser sometido a una temperatura de fundición mayor a la recomendada.

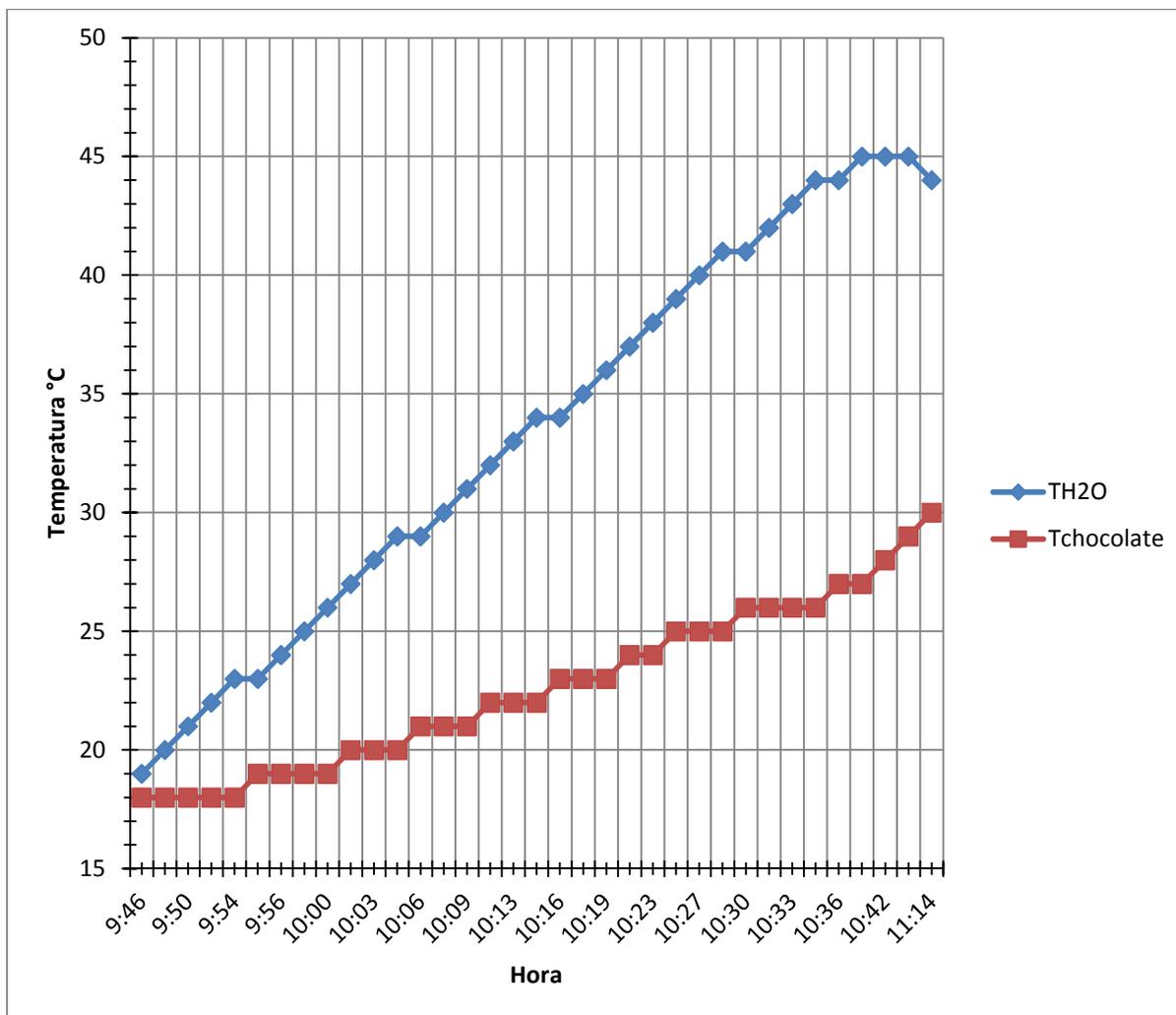


Figura 62.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 1

Elaboración propia

La Prueba y Calibración N° 2 inició a las 12:26 y las primeras temperaturas fueron:  $T_{H_2O}=40^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=31^{\circ}C$ ; se pudo apreciar que al transcurrir 1h y 12min, de la prueba anterior,  $T_{H_2O}$  descendió  $4^{\circ}C$  mientras que  $T_{chocolate}$  incrementó  $1^{\circ}C$ , lo cual se puede observar al comparar las figuras 62 y 64. Además se apreció una mayor cantidad de chocolate fundido, lo cual se puede observar en la figura 63. Finalmente, a las 12:35 cuando se detuvo la prueba, se consideró necesario modificar el rango de lectura de los valores enviados por los sensores de temperatura en la programación para la optimización de la máquina.



Figura 63.- Muestra de chocolate fundido en prueba N°2

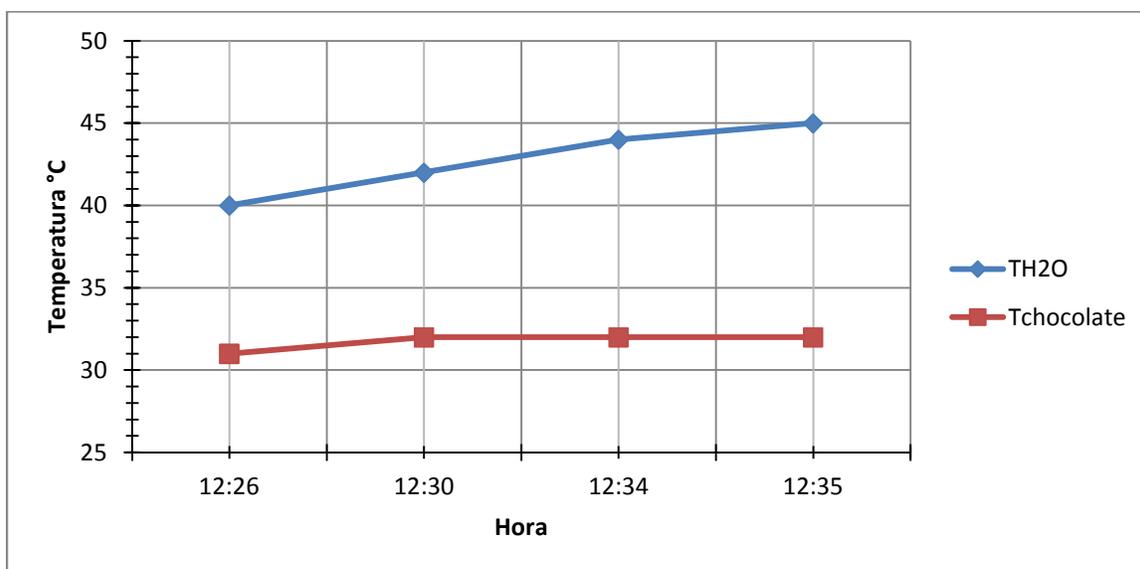


Figura 64.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 2

Elaboración propia

La Prueba y Calibración N° 3 inició a las 14:20, con las siguientes temperaturas:  $T_{H_2O}=41^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=34^{\circ}C$ , se pudo observar que al transcurrir 1h y 45min de la prueba anterior,  $T_{H_2O}$  descendió  $4^{\circ}C$  mientras que  $T_{chocolate}$  incrementó  $2^{\circ}C$ ; lo cual se puede apreciar al comparar las figuras 64 y 66. Además, en la figura 65, se aprecia un incremento en el proceso de fundición sin agitación, a las 14:28 cuando se finalizó la prueba.



Figura 65.- Muestra del chocolate fundido tomado con una paleta en la prueba y calibración N°3

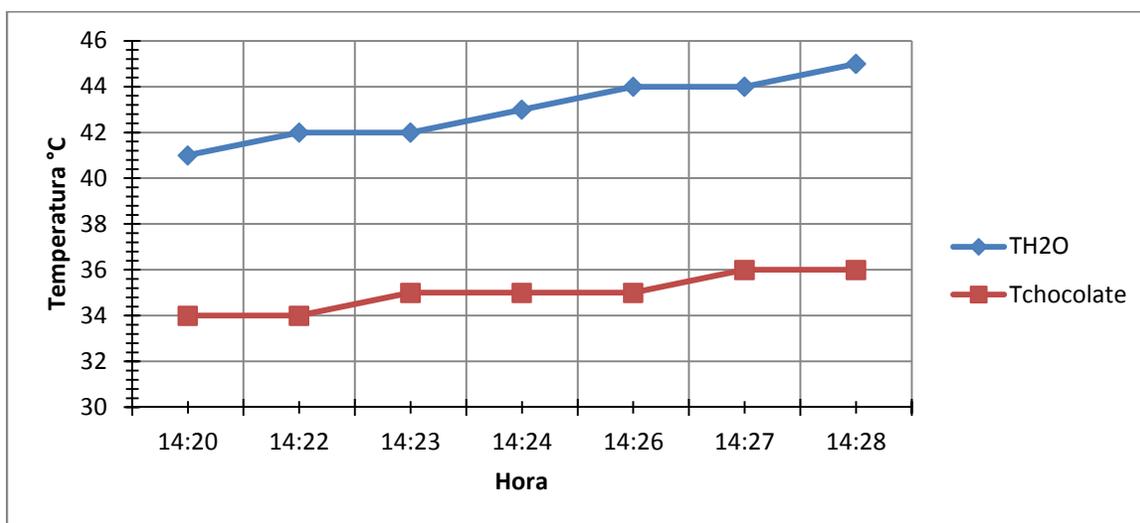


Figura 66.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 3

Elaboración propia

La Prueba y Calibración N° 4 inició a las 15:23 con los siguientes valores de temperaturas:  $T_{H_2O}=44^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=37^{\circ}C$ , se pudo apreciar que al transcurrir 1h y 5min de la prueba anterior,  $T_{H_2O}$  descendió  $1^{\circ}C$  mientras que  $T_{chocolate}$  incrementó  $1^{\circ}C$ ; lo cual se puede apreciar al comparar las figuras 66 y 67. A las 15:37 se inició por primera vez el sistema de agitación, se trabajó a una frecuencia de 3 Hz. Sin embargo, a las 15:43 el agua alcanzó su máxima temperatura, siendo esta de  $48^{\circ}C$ ; razón por la cual esta fue la última prueba en la que se trabajó con los rangos de la temperatura iniciales para que el LOGO emita una señal y así apagar los componentes. Además, a las 16:15, al finalizar esta prueba, se pudo apreciar que el chocolate estaba casi fundido en su totalidad ya que alcanzó una temperatura de  $43^{\circ}C$ .

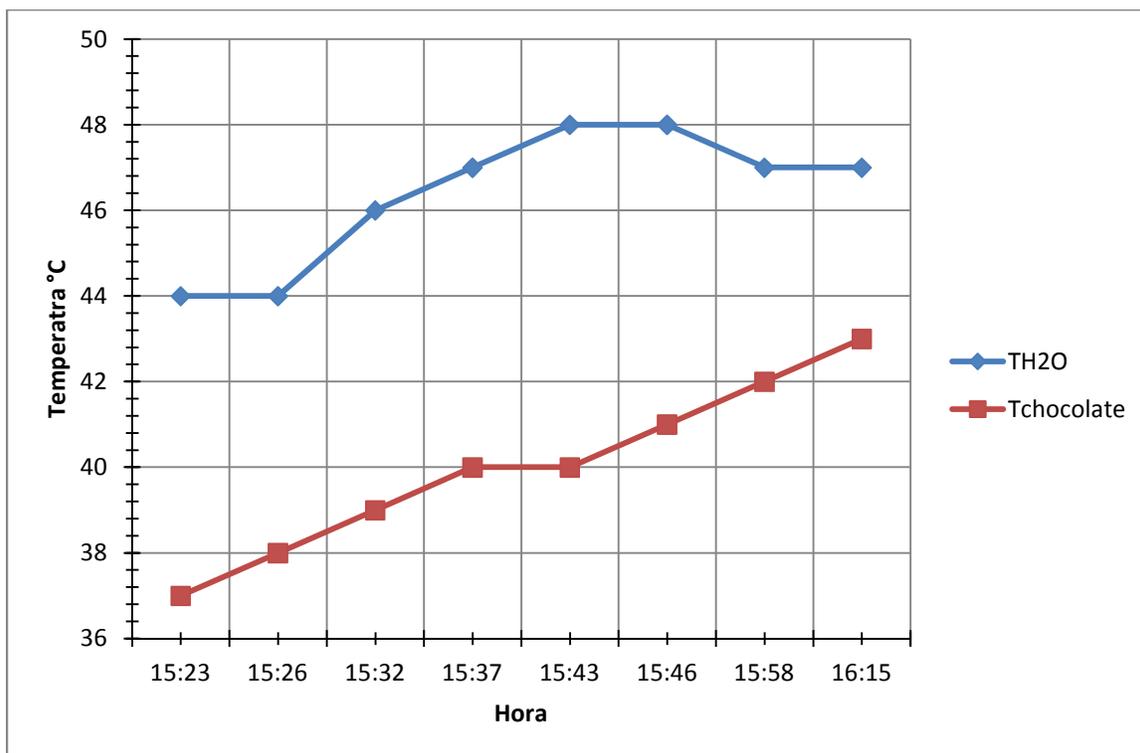


Figura 67.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 4

Elaboración propia

La Prueba y Calibración N° 5 inició a las 16:20 con los siguientes valores de temperatura:  $T_{H_2O}=46^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=43^{\circ}C$ , y con una agitación cuya frecuencia fue de 3 Hz. Además se comprobó que al transcurrir 5min de la prueba anterior,  $T_{H_2O}$  descendió  $1^{\circ}C$  mientras que  $T_{chocolate}$  se mantuvo constante, lo cual se puede apreciar al comparar las figuras 67 y 68. El objetivo principal de esta prueba fue comprobar que la función de modo manual, F2+F3, funcionaba correctamente, evitando así la quema del chocolate, como se indica en la figura 69 donde se pueden observar los parámetros asignados por el usuario, es por eso que cuando se asignó una  $T_{OFFR}=40^{\circ}C$ , la resistencia dejó de calentar y es por eso el descenso de temperatura del agua que se observa (ver figura 68) hasta cuando la prueba finalizó a las 17:52.

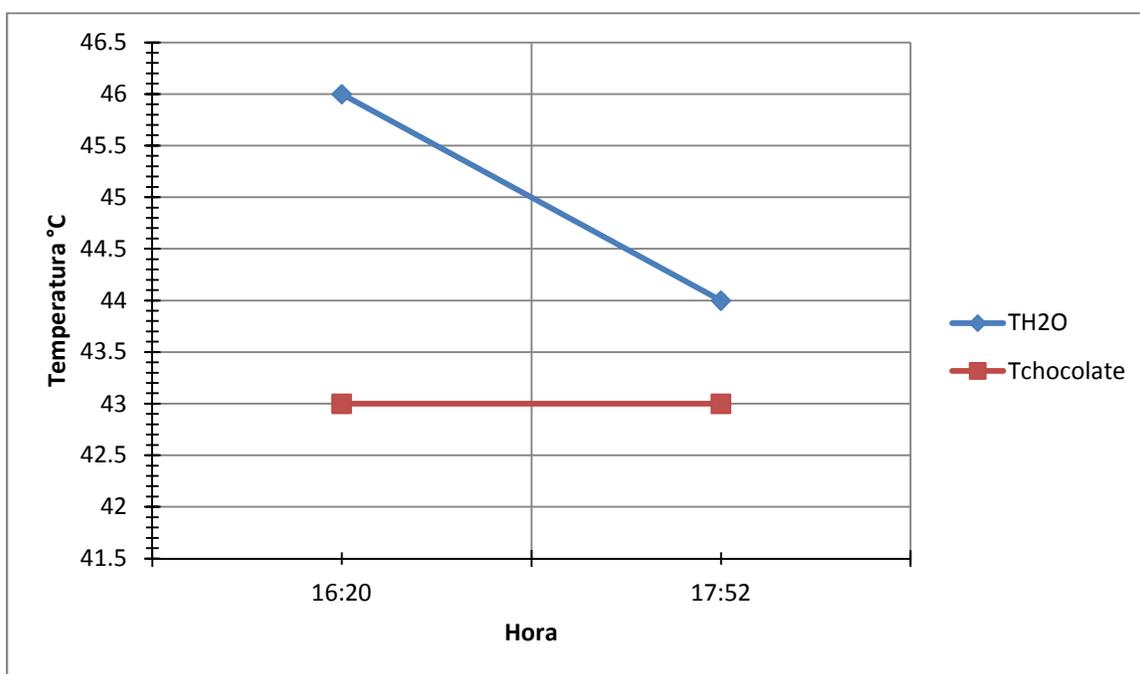


Figura 68.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 5

Elaboración propia



Figura 69.- Temperaturas indicadas en modo de operación manual, F2+F3

La Prueba y Calibración N° 6 se inició a las 18:22 con la función F1, empleando el sistema de agitación a una frecuencia de 3 Hz como se observa en la figura 70 y con las siguientes temperaturas:  $T_{H_2O}=43^{\circ}\text{C}$  y  $T_{\text{chocolate}}=42^{\circ}\text{C}$ ; se pudo observar que al transcurrir 20 min de la prueba anterior,  $T_{H_2O}$  descendió  $1^{\circ}\text{C}$  mientras que  $T_{\text{chocolate}}$  se mantuvo constante, lo cual se puede apreciar al comparar las figuras 68 y 71.

Sin embargo, se puede observar en la figura 71 que desde las 18:22 hasta las 20:15 existe un descenso en la temperatura del agua y la temperatura del chocolate de  $4^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, lo cual se debe a la mezcla del agua del reservorio con la del cilindro por el sistema de recirculación y, en el chocolate por el sistema de agitación. Además se cargó en el logo el nuevo programa con los parámetros modificados. La prueba se detuvo a las 20:45 para cambiar de función y poder proceder con las pruebas de operación.



Figura 70.- A las 18:24 solo el motor funcionando en operación F1

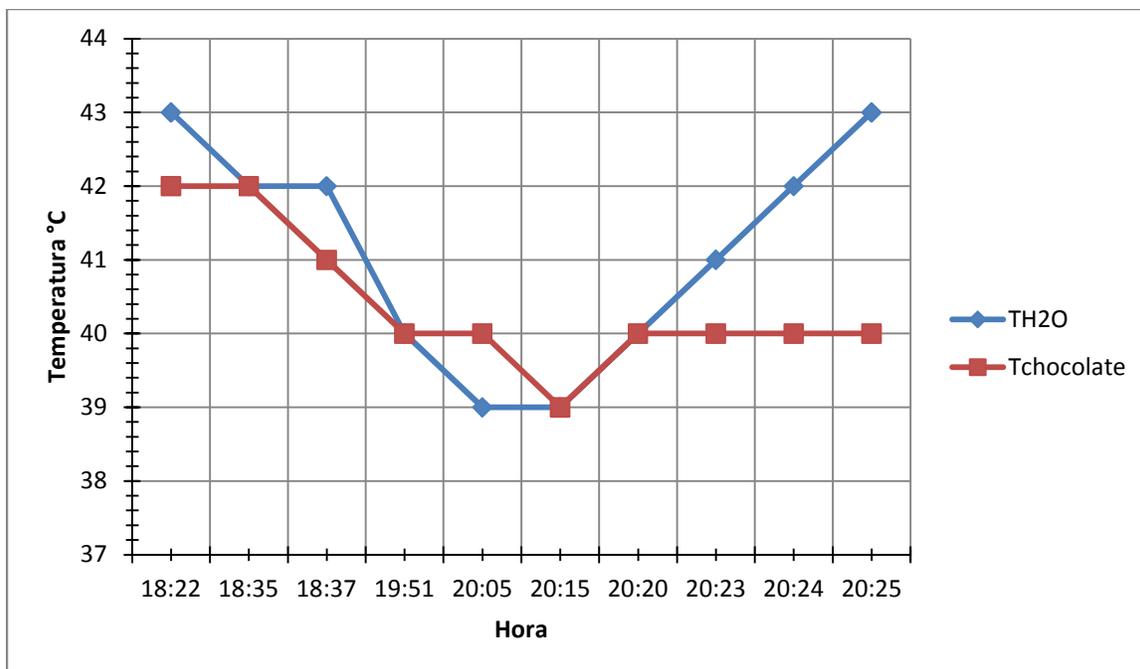


Figura 71.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 6

Elaboración propia

La Prueba y Calibración N° 7 se inició a las 20:45 con la función F4 – modo automático para la noche (ver figura 72), el sistema de agitación a una frecuencia de 3 Hz y los siguientes valores de temperatura:  $T_{H_2O}=40^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=39^{\circ}C$ ; además se pudo observar que al transcurrir 20 min de la prueba anterior,  $T_{H_2O}$  descendió  $3^{\circ}C$  mientras que  $T_{chocolate}$  disminuyó  $1^{\circ}C$ , lo cual se puede apreciar al comparar las figuras 71 y 73, esta variación en la temperatura del agua es notoria debido al descenso en la temperatura ambiente.

El objetivo de la prueba N°7 fue probar el modo de operación F4 que es para el trabajo de fundición que se realiza en la noche, es por eso que los parámetros programados y que se descargaron en el LOGO fueron 10 minutos de trabajo del motor eléctrico (sistema de agitación) y 2 horas parado; estos parámetros no fueron los oficiales (de requerimiento), sin embargo se asignaron estos tiempos para comprobar que el tiempo cronometrado era el mismo que el esperado. Finalizando la operación a las 22:45, donde se realizó un análisis del estado del producto.

Finalmente, como se aprecia en la figura 73 a partir de las 20:55, gracias a la programación que se realizó se pudo concluir que es factible mantener una temperatura constante del chocolate al controlar la temperatura del agua en un parámetro establecido en el proceso de automatización.



Figura 72.- Motor, bomba y resistencia funcionando a las 20:47

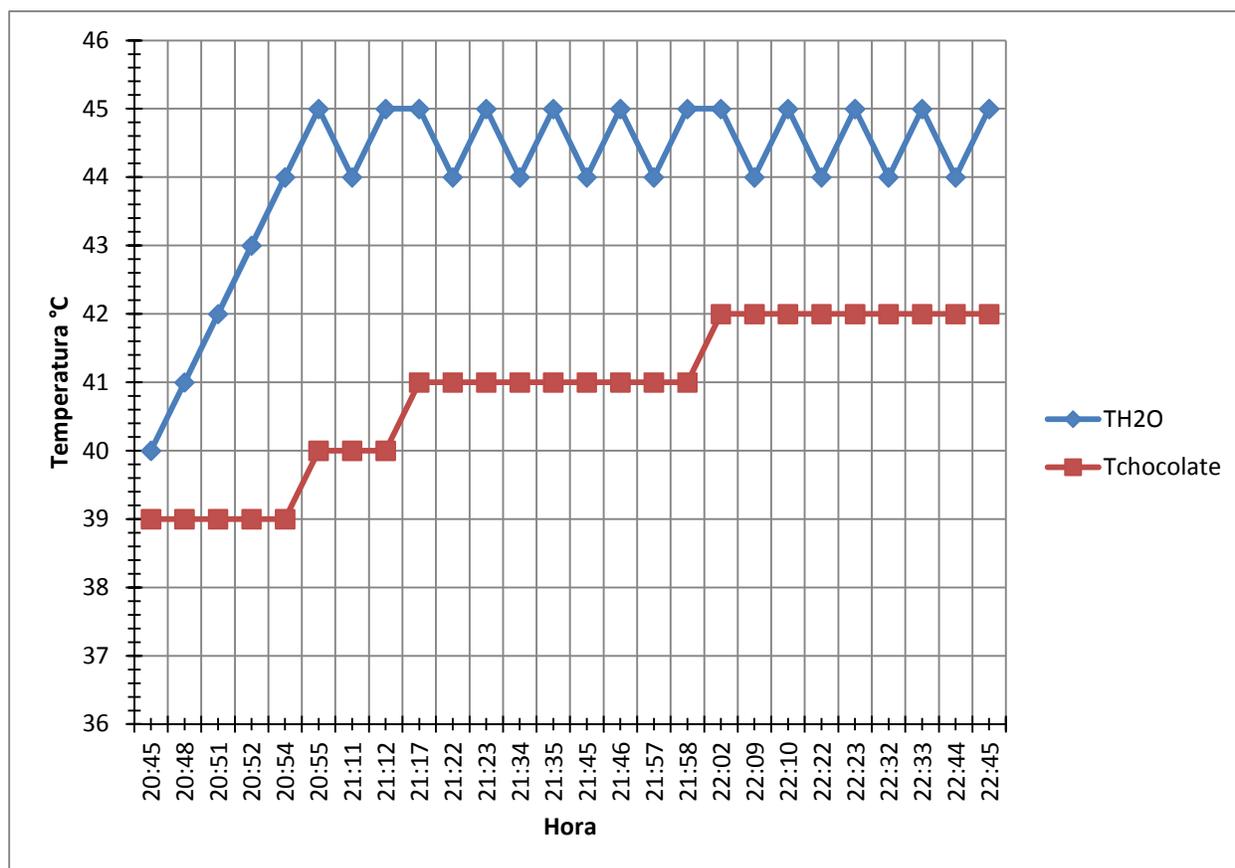


Figura 73.- Grafico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 7

Elaboración propia

La Prueba y Calibración N° 8 inició a las 23:00 empleando la función F4 y el sistema de agitación a una frecuencia de 3 Hz, además las temperaturas iniciales fueron:  $T_{H_2O}=44^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=42^{\circ}C$ . Se pudo apreciar que al transcurrir 15 min de la prueba anterior,  $T_{H_2O}$  y  $T_{chocolate}$  se mantuvieron constantes, lo cual era lo que se deseaba con la programación descargada en el LOGO; lo cual se puede apreciar al comparar las figuras 73 y 74. Además se comprobó que el encendido y apagado tanto de la bomba como de la resistencia era igual al de la prueba N° 7. Por otra parte, se decidió parar la prueba (a la 1:20) para realizar variación en la programación de la función F4 en lo referente a los tiempos de para y de operación del variador.

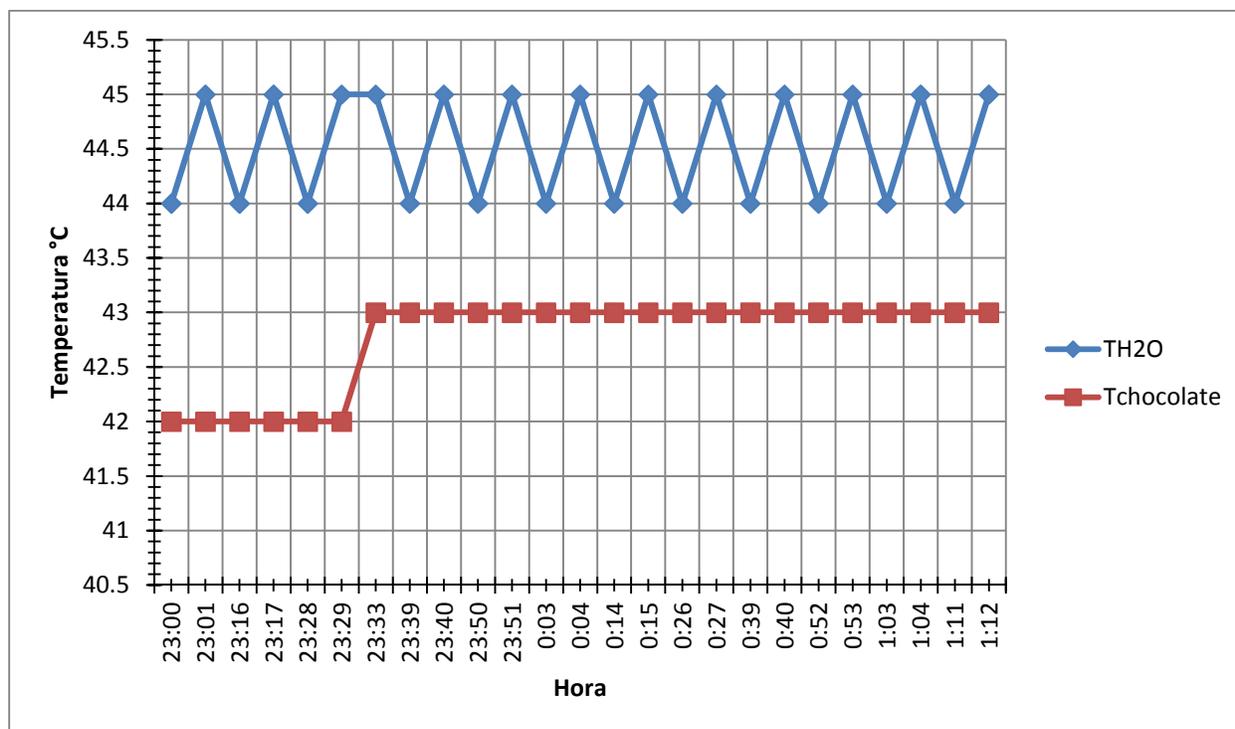


Figura 74.- Gráfico de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 8

Elaboración propia

La Prueba y Calibración N° 9 inició a la 1:30, empleando la función F4 y utilizando el sistema de agitación con una frecuencia de 3 Hz; además las temperaturas iniciales fueron:  $T_{H_2O}=44^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=43^{\circ}C$ . Además al transcurrir 18 min de la prueba anterior, se pudo apreciar que  $T_{H_2O}$  disminuyó  $1^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}$  se mantuvo constante. También se modificó el tiempo de funcionamiento del variador en la función F4, trabajando 10 minutos y descansando 4 horas (ver figura 75). Los tiempos y temperaturas de la figura 76 son los específicos que fueron tomados durante el accionamiento de la bomba y resistencia para mantener la temperatura del chocolate constante. Finalmente la prueba concluyó a las 5:50 para cambiar de función para la operación.

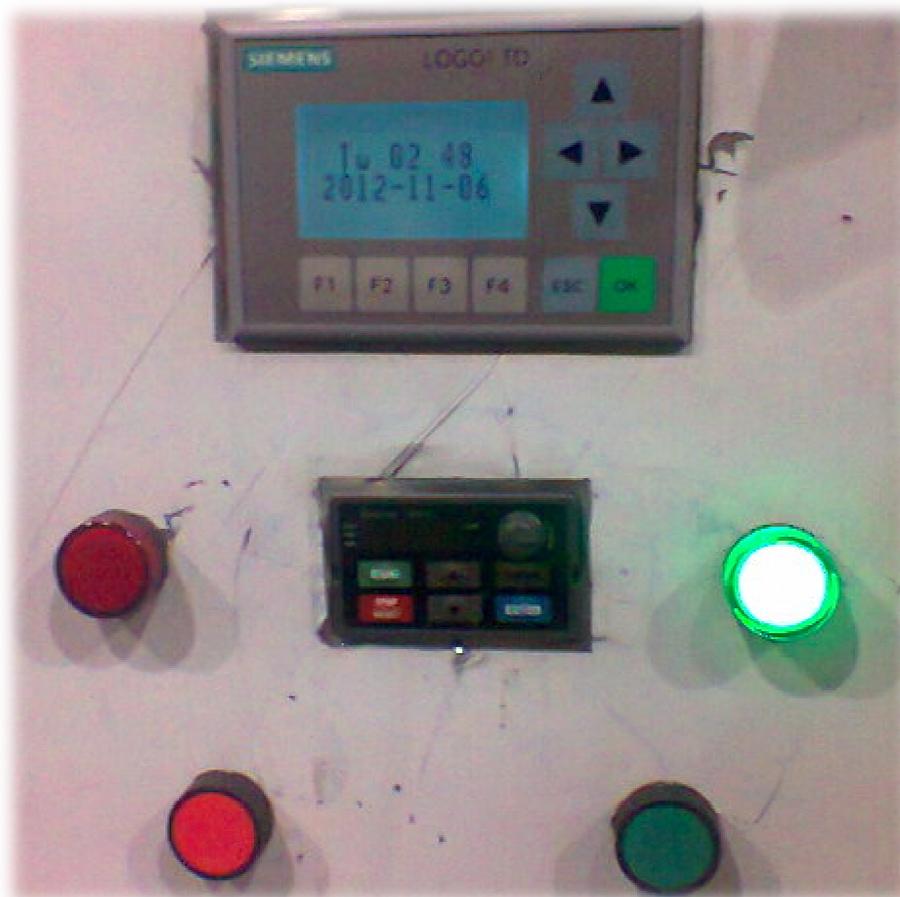


Figura 75.- Bomba y Resistencia funcionando a las 2:48

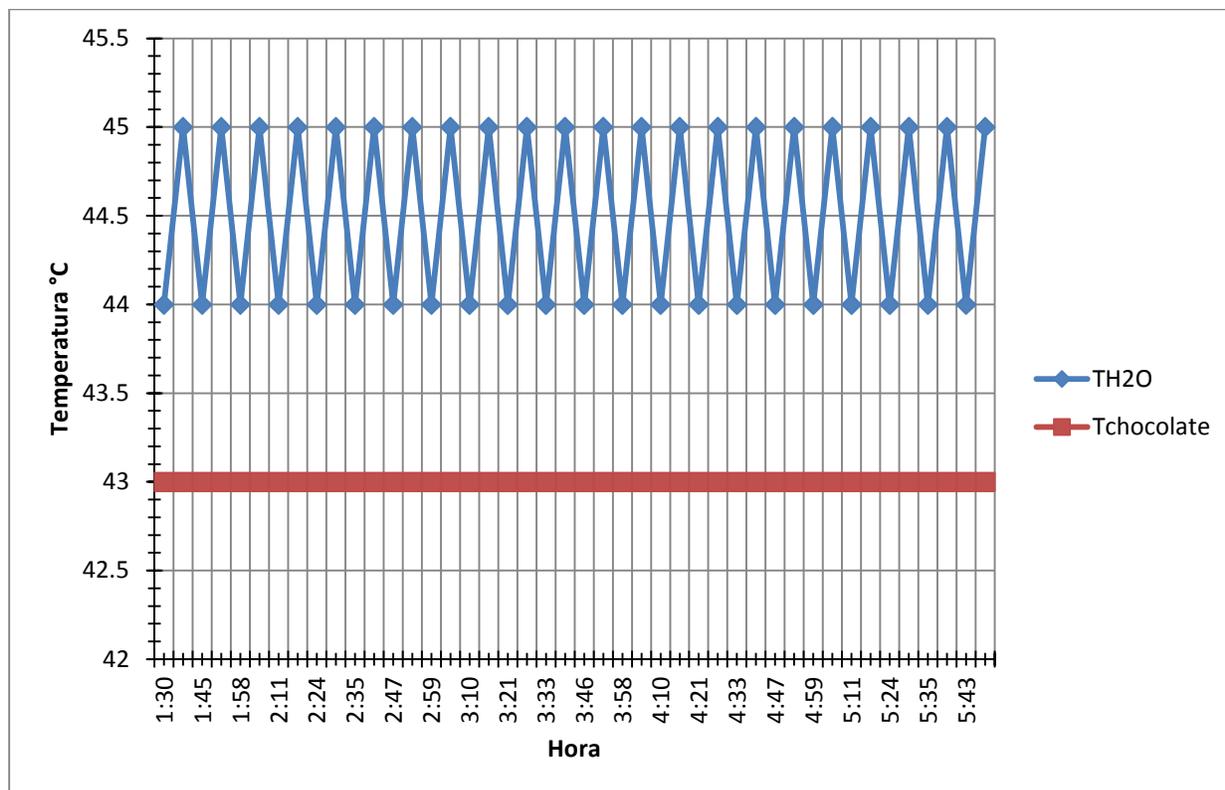


Figura 76.- Resultados de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 9

La Prueba y Calibración N° 10 se inició a las 13:45 con la función F1 sin sistema de agitación, se adicionaron 10Kg de chocolate (gotas dulces) en estado sólido y las temperaturas iniciales fueron:  $T_{H_2O}=45^{\circ}C$  y  $T_{chocolate}=43^{\circ}C$ . El objetivo fue determinar la caída de temperatura del chocolate al incrementar producto a temperatura ambiente,  $20^{\circ}C$ . Como se puede apreciar en la figura 77, al transcurrir 2 horas, el incremento de 10 kg sólidos de chocolate a temperatura ambiente, disminuyen la temperatura del producto en  $4^{\circ}C$ ; y que retomar su temperatura anterior,  $42^{\circ}C$ , requiere de una hora aproximadamente. Concluyendo la prueba a las 16:50

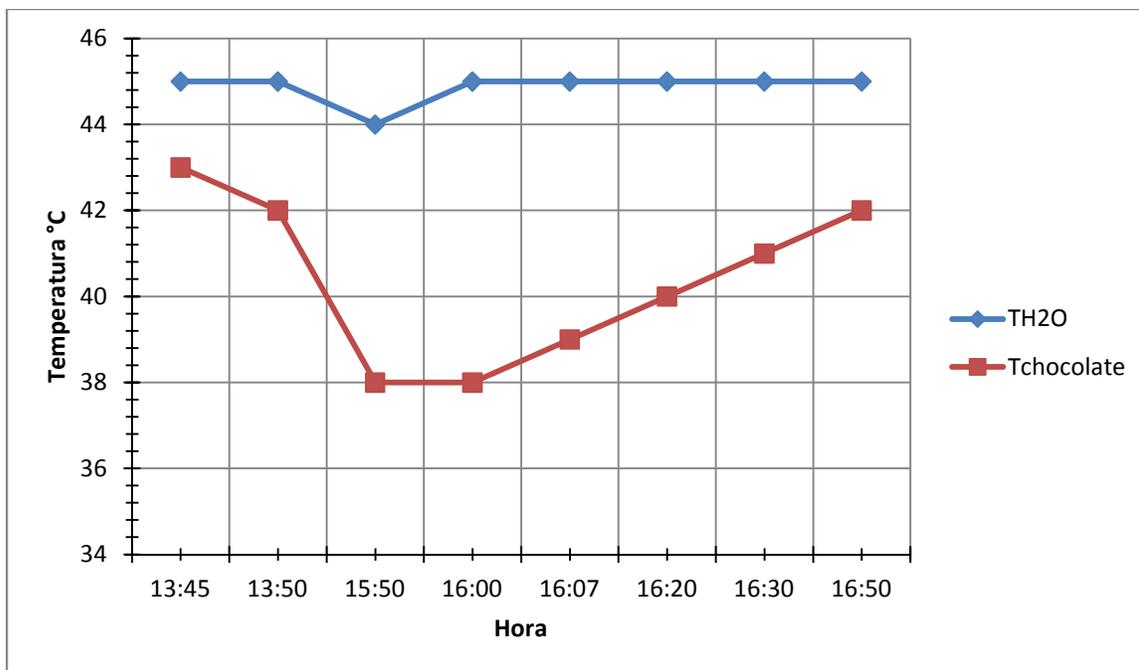


Figura 77.- Resultados de la variación de temperaturas en prueba y calibración N° 10

Elaboración propia

## 5.4. Pruebas del Producto

Con el fin de determinar si no se afectaron las propiedades el chocolate que se fundió en la máquina, se realizaron varios análisis en los laboratorios de la planta de alimentos de la Universidad San Francisco de Quito, para los cuales se empleó chocolate que había sido fundido en la máquina, que se comparó con chocolate que no fue fundido en la máquina. El análisis se efectuó empleando el reómetro Brookfield DV-III Ultra, dicha máquina trabaja principalmente con el sistema de medida CGS como se detalla en la tabla 13.

Tabla 13.- Equivalencia de Unidades entre el sistema CGS y SI

Fuente – Manual de Brookfield DV-III Ultra

	SI	CGS
Viscosidad	1 mPa*s	1 cP
Esfuerzo cortante	1 Newton/m <sup>2</sup>	10 dyne/cm <sup>2</sup>
Torque	1N*m	10 <sup>7</sup> dyne*cm

Previo al análisis experimental se procedió a configurar los parámetros para las pruebas en el programa Rheocalc V3.3 Build 49-1 (ver figura 78), como el número de revoluciones y el tiempo de agitación que marcan cada intervalo para la recolección de un dato puntual.

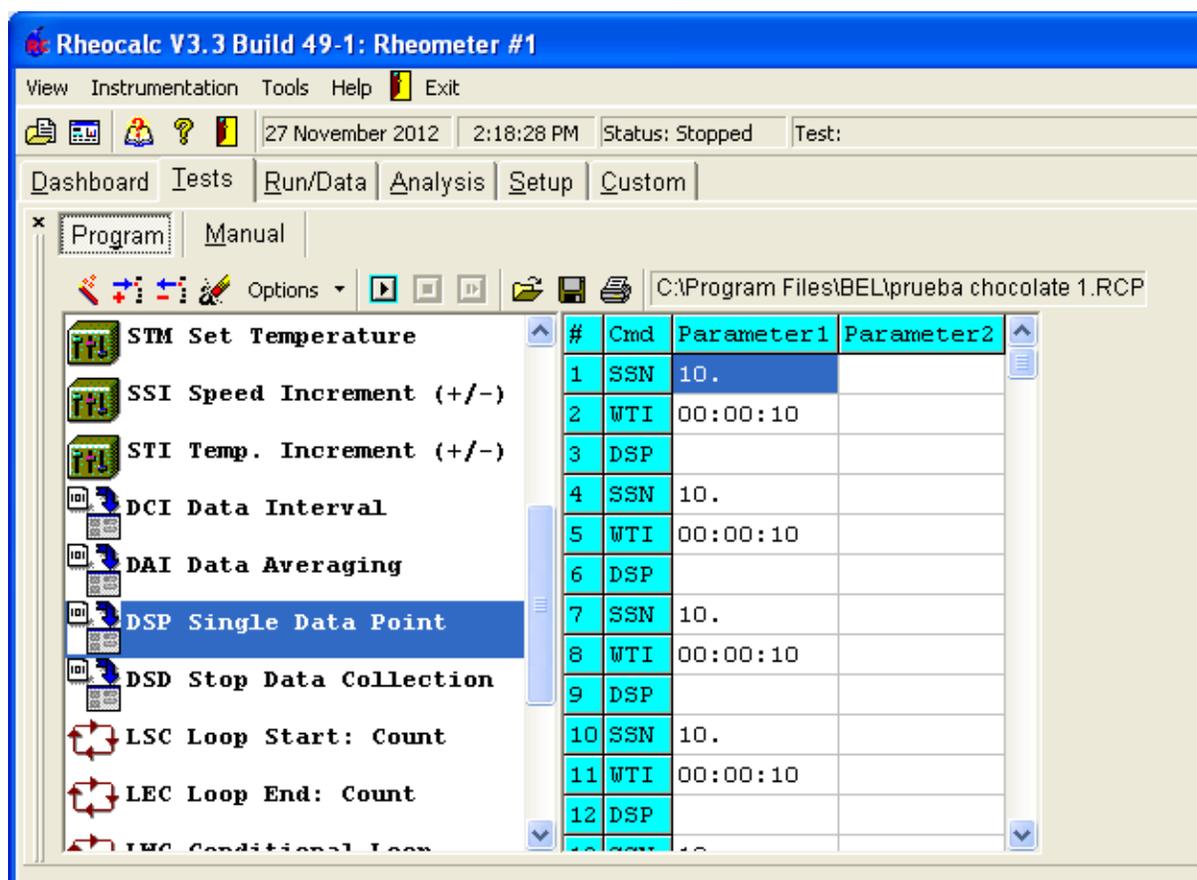


Figura 78.- Ajuste de parámetros para el modo automático en Test del programa Rheocalc

### **5.4.1. Desarrollo y Resultados de Análisis del Producto**

Para el análisis realizado en el reómetro se tomaron dos muestras de chocolate equivalente a 0.5 Kg cada una, la muestra inicial fue chocolate antes de ser ingresado en la máquina (gotas de chocolate dulce) y la siguiente muestra fue de chocolate luego de que ha sido fundido en la máquina. Los resultados generados y detallados de cada análisis realizado por el software del reómetro se indican en el Anexo C.

#### **Muestra de Chocolate Fundido en la Máquina**

Se inició con el chocolate que había sido fundido a una temperatura de hasta 45°C en la máquina, dicho chocolate se dejó solidificar y posteriormente en el reómetro se fundió mediante el proceso de baño maría hasta una temperatura máxima de 44.5°C. Teniendo el resultado indicado en la figura 79, en el cual se puede apreciar que la viscosidad del chocolate (línea de color rojo – chocolate 1) disminuye al incrementar la temperatura entre 44.40°C y 44.45°C (línea de color amarillo – chocolate 1), y variar la velocidad de agitación en un intervalo de tiempo de 1 minuto.

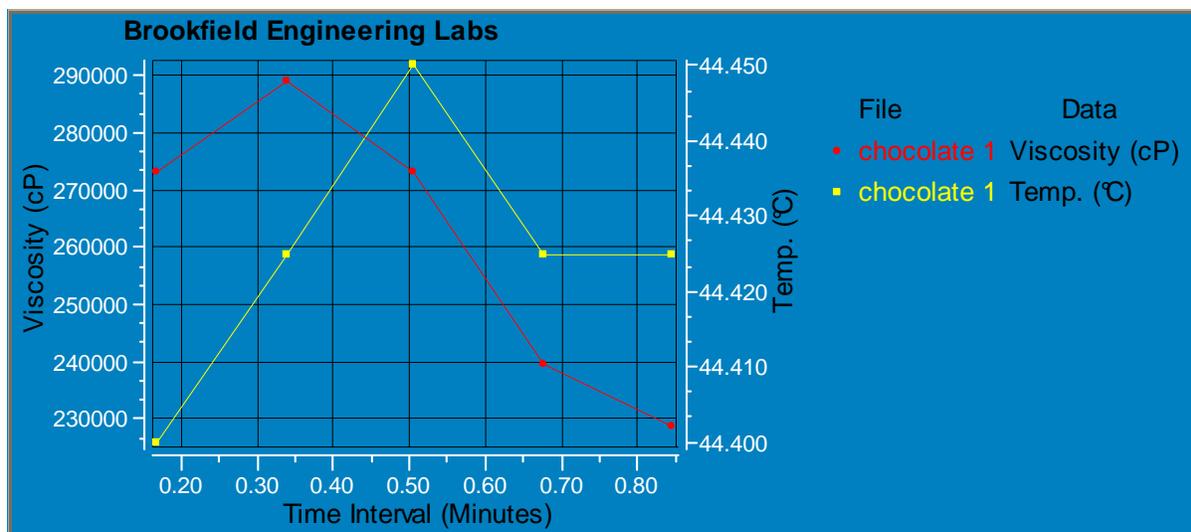


Figura 79.- Prueba 1 – Curva de la viscosidad del chocolate de la máquina fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada

### Muestra de Chocolate Antes de Ser Ingresado a la Máquina

En la segunda prueba se decidió realizar otro análisis en el reómetro para verificar cuanto se afectan las propiedades del chocolate, en especial la viscosidad, si se sobrepasara la temperatura de 50°C en el proceso de fundición realizado en la máquina. Para ello se colocó el chocolate que no ha sido ingresado en la máquina, el cual se fundió mediante el proceso de baño maría en el reómetro a diferentes temperaturas.

Primero se analizó esta muestra, por un intervalo de tiempo de 1 minuto, a una temperatura entre 39.13 – 39.17°C y a una velocidad variable entre 0-2 RPM, teniendo los resultados indicados en la figura 80 y en la figura 81. Al iniciar la recolección de datos, se empezó con una viscosidad de 737842.56 cP, para una temperatura de 39.2°C y una velocidad de 0.1 RPM; cuando se finalizó la recolección de datos se obtuvo que la viscosidad era de 251046.43 cP, para una temperatura de 39.1°C y una velocidad de 2RPM.

Observando en esta prueba que el descenso en la viscosidad del chocolate (línea de color rojo – chocolate 3) es de 486796.13 cP cuando se incrementa la velocidad de agitación y se varía la temperatura (línea de color amarillo – chocolate 3).

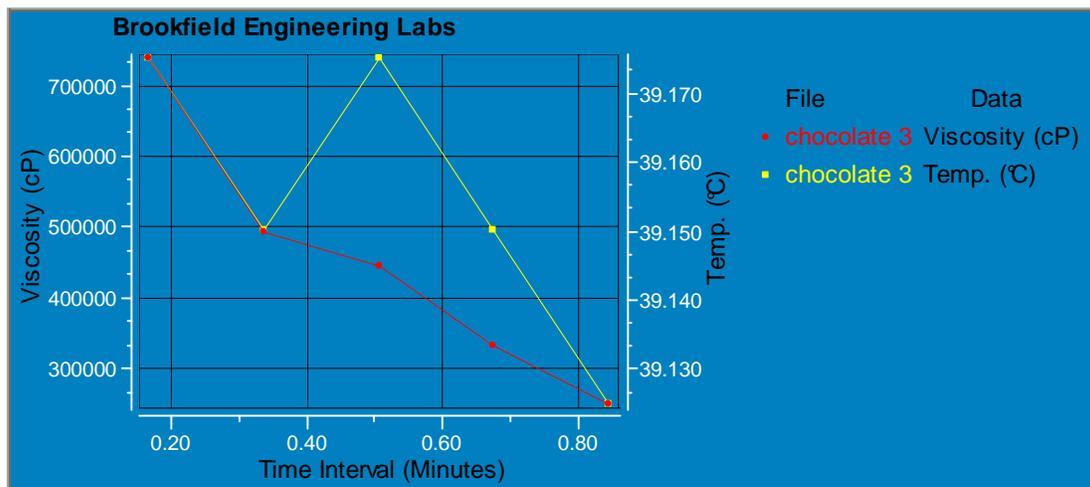


Figura 80.- Prueba 3 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada

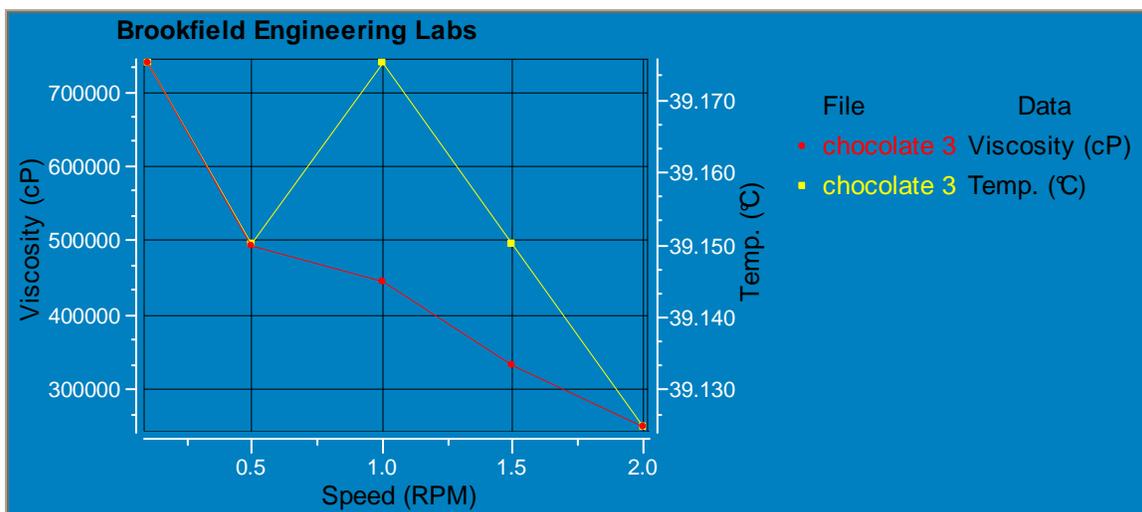


Figura 81.- Prueba 3 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante una temperatura asignada y una velocidad variable

Después, se incrementó la temperatura del baño maría para esta muestra; realizando el análisis en el reómetro a una temperatura comprendida entre 44.62°C y 44.68°C, a una velocidad variable 0-2 RPM; con lo que se obtuvo los resultados indicados en la figura 82 y figura 83. Iniciando la recolección de datos con una viscosidad de 209955.2 cP, para una temperatura de 44.7°C a una velocidad de 0.1 RPM; y una vez finalizada la recolección de datos se obtuvo una viscosidad de 82782.34 cP para una temperatura de 44.7 °C a una velocidad de 2 RPM. Se puede concluir que en esta prueba el descenso de la viscosidad del chocolate (línea de color rojo – chocolate 3) fue de 127172.86 cP cuando se incrementa la velocidad de agitación y se varía la temperatura (línea de color amarillo – chocolate 3).

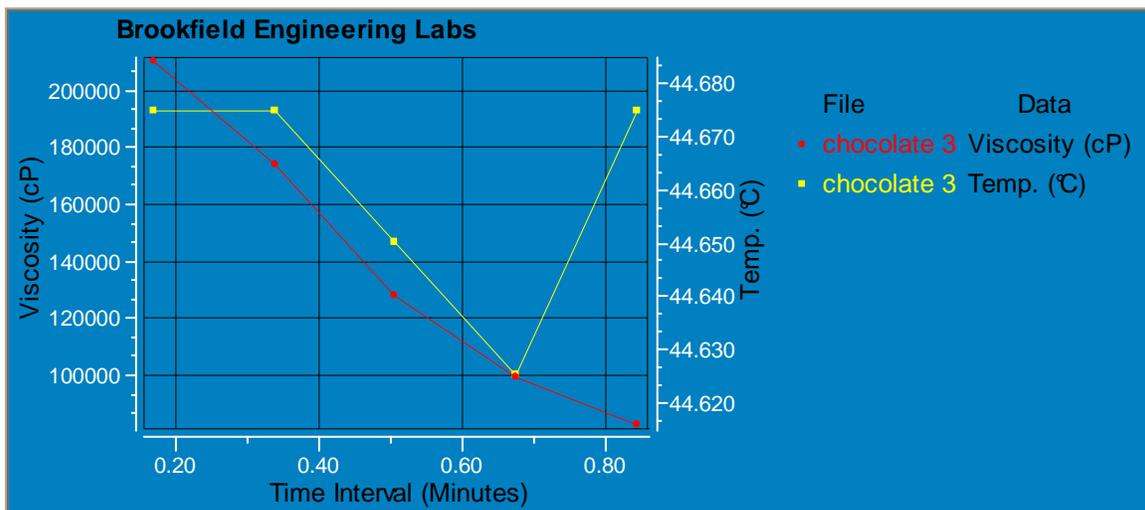


Figura 82.- Prueba 3.1 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada

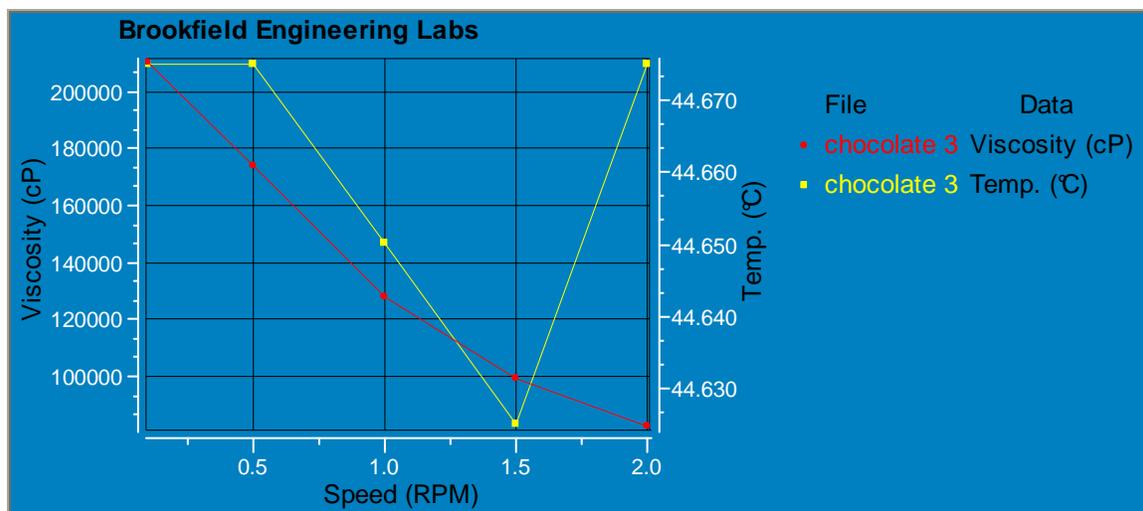


Figura 83.- Prueba 3.1 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante una temperatura asignada y una velocidad variable

Posteriormente, se incrementó la temperatura del baño maría para fundición de la muestra; realizando el análisis a una temperatura cuyo rango fue entre 50.3°C y 50.4°C, a una velocidad variable entre 0-2 RPM, teniendo los resultados indicados en la figura 84 y figura 85. En esta prueba se inició con una viscosidad de 179961.6 cP para una temperatura de 50.3 °C y una velocidad de agitación de 0.1 RPM; y finalizando con una viscosidad de 75883.81 cP para una temperatura de 50.4 °C y una velocidad de agitación de 2 RPM. Por lo que se puede concluir que en esta prueba, el descenso de la viscosidad del chocolate (línea de color rojo – chocolate 3) es de 104077.79 cP cuando se incrementa la velocidad de agitación y se varía la temperatura (línea de color amarillo – chocolate 3).

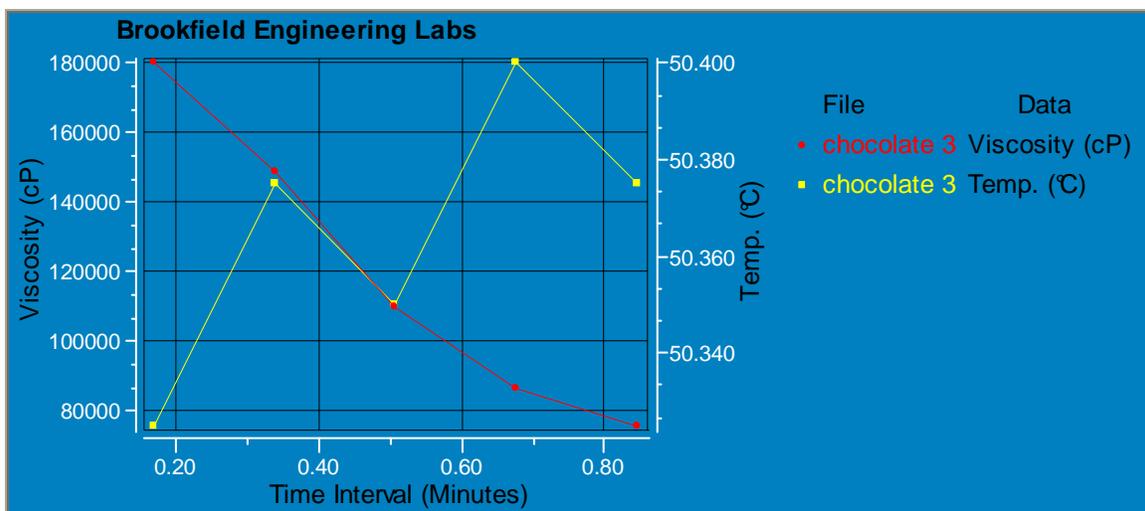


Figura 84.- Prueba 3.2 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada

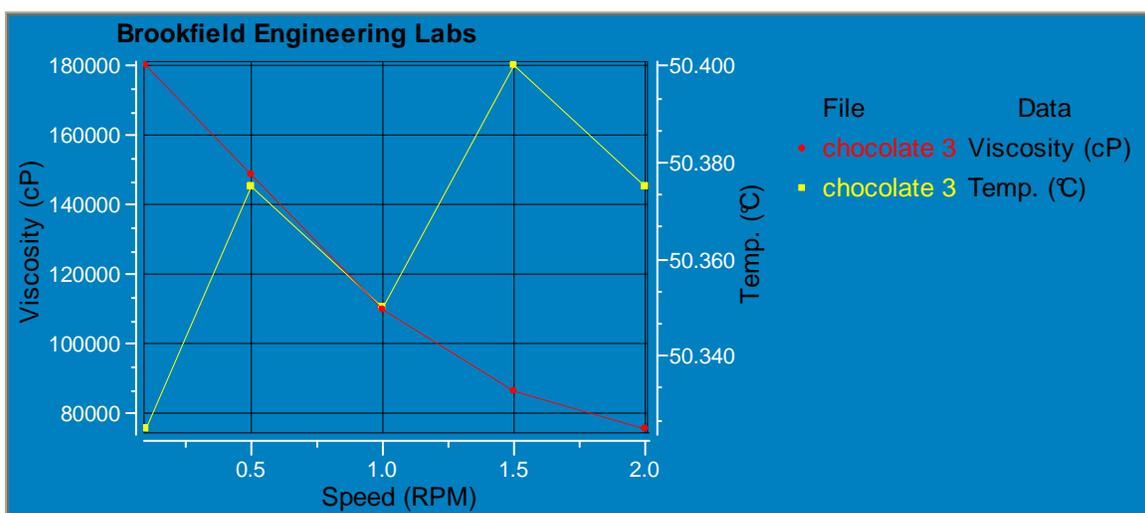


Figura 85.- Prueba 3.2 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante una temperatura asignada y una velocidad variable

Finalmente se dejó enfriar la temperatura de fundición de la muestra de chocolate, realizándose el análisis en un rango de temperatura comprendido entre 30°C y 39.05°C, a una velocidad variable entre 0-2 RPM, teniendo los resultados indicados en la figura 86 y figura 87. Donde se puede apreciar que se inició la prueba con una viscosidad de 215953.92 cP a una temperatura de 39.025°C y una velocidad de agitación de 0.1 RPM; finalizando la prueba con una viscosidad de 95679.58 cP a una temperatura de 39°C y una velocidad de 2 RPM. Pudiendo concluir que la viscosidad del chocolate (línea de color rojo – chocolate 3)., en esta prueba, disminuye 120274.34 cP al incrementar la velocidad de agitación y variar la temperatura (línea de color amarillo – chocolate 3).

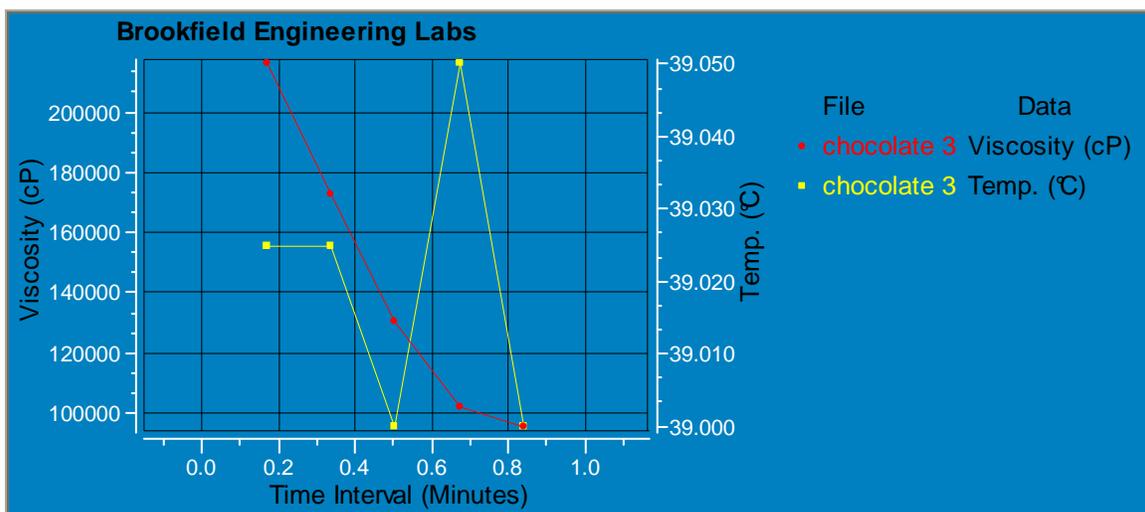


Figura 86.- Prueba 3.3 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante un intervalo de tiempo dado y una temperatura asignada

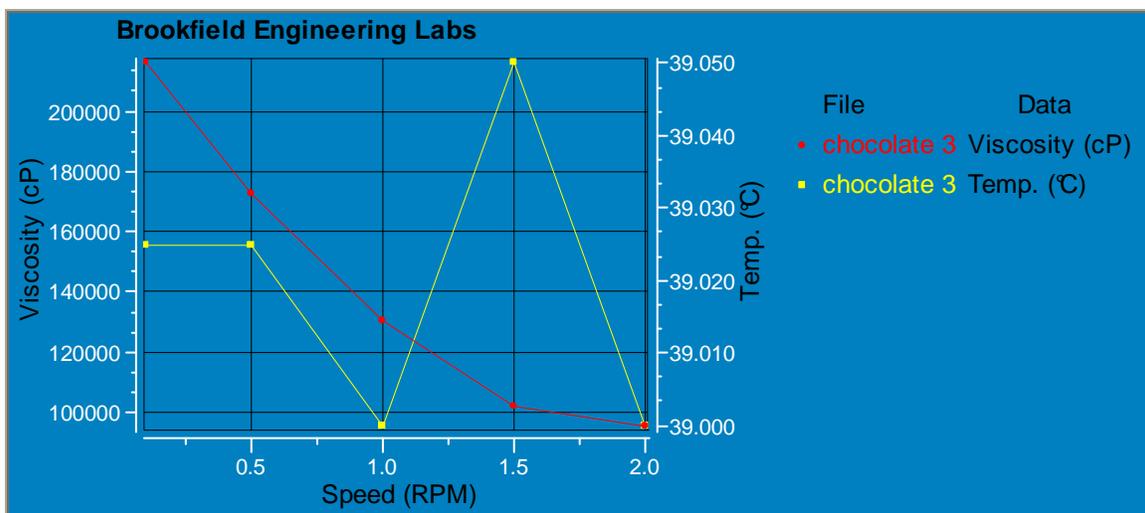


Figura 87.- Prueba 3.3 – Chocolate que no ha ingresado a la máquina, fundido durante una temperatura asignada y una velocidad variable

## **6. CAPITULO VI.- Conclusiones y Recomendaciones**

## 6.1. Conclusiones

- Contar con un sistema de automatización permite controlar de una manera más eficiente el proceso de fundición del chocolate, ya que se tiene un control sobre la temperatura de licuefacción adecuada, entre 40°C y 45°C, dependiendo del tipo de chocolate con el que se desee trabajar.
- Gracias a la automatización realizada, se asegura que el modo de operación no resulta complejo, ya que el operador dispone de tres diferentes funciones para trabajar con el chocolate, las cuales han sido previamente programadas y que pueden modificarse fácilmente dependiendo de los requerimientos del usuario.
- El proceso de optimización del programa realizado para la automatización de la máquina fue esencial, ya que se logró el objetivo, configurar los tiempos de encendido y apagado de: motor, bomba, resistencia y niquelinas; según sea la necesidad. Con lo cual se cumple con uno de los requerimientos del proyecto mencionados en la tabla 8.
- Se avala que los equipos instalados en la máquina garantizan un óptimo funcionamiento de la misma, desarrollando sin problema alguno el proceso de fundición, de lo observado en las pruebas del sistema de control y simulaciones eléctricas realizadas.
- Al examinar los resultados de los análisis realizados en el reómetro, se puede constatar que a los 45°C: el chocolate que se fundió en la máquina construida tiene una viscosidad máxima de 280000 cP, mientras que el chocolate que no ha ingresado a la máquina posee una viscosidad de 250000 cP; esto nos indica que el chocolate tiende a conservar sus propiedades al procesarse en la máquina.

- Se demostró que si el chocolate sobrepasa los 50°C tiende a perder sus propiedades, comparando en la figura 88; ya que inicialmente el chocolate al ser fundido a una temperatura de 40°C aproximadamente poseía una viscosidad máxima de 700000 cP y luego de ser sometido a un punto de fusión superior a los 50°C, tras enfriarse nuevamente hasta los 40°C aproximadamente, su nueva viscosidad máxima a esta temperatura fue de 250000 cP.

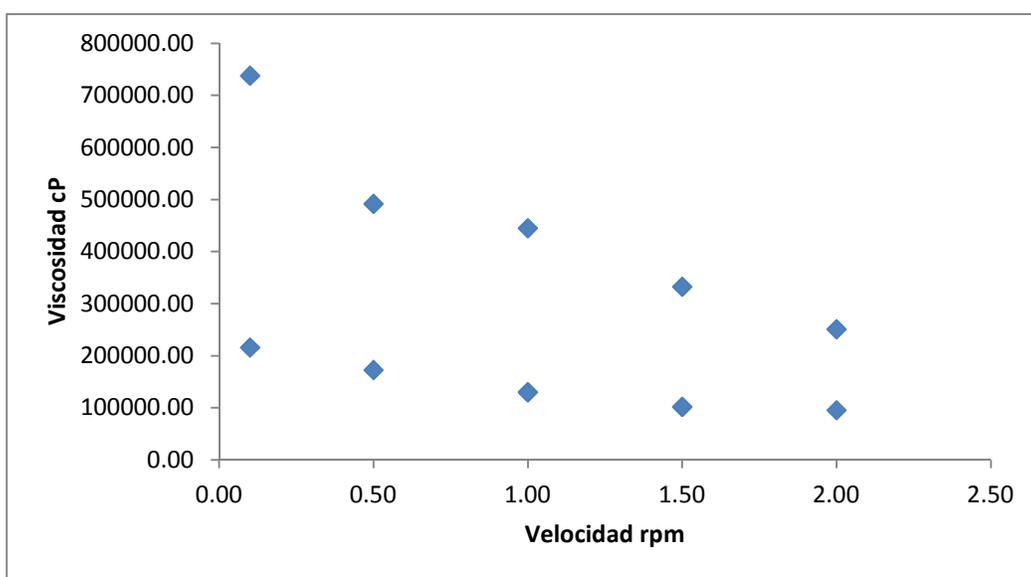


Figura 88.- Comparación de la viscosidad del chocolate a 40°C, antes y después de que el chocolate haya sido fundido a 50°C

Elaboración propia

- Al realizar las pruebas del producto en el reómetro, se comprobó experimentalmente que el chocolate es un fluido seudoplástico ya que al incrementar la temperatura su viscosidad disminuye, y más aún, si es sometido a un incremento en la velocidad de agitación.

## 6.2. Recomendaciones

- Ejecutar simulaciones de cada función en el software LOGO Soft Comfort cada vez que se realice alguna modificación en el programa de la automatización, para garantizar un óptimo funcionamiento de la máquina.
- Considerar el tipo de señal emitida por los sensores de temperatura empleados para la programación, su equivalencia y su margen de error, para asegurar que no se pierda la calidad del chocolate ni los cristales formados por procesos previos de temperado.
- Gracias a la experiencia adquirida al realizar las 56 horas continuas de prueba de funcionamiento de la máquina, es necesario recomendar al usuario que, a más de considerar el incremento de la temperatura para la fundición del chocolate (misma que es importante para conservar la formación de los cristales deseados), se debe tener en cuenta los factores ambientales como: la humedad a la que se elabora el chocolate no debe sobrepasar el 65%, la temperatura para moldear no debe ser menor a 20°C y, finalmente si se procede a almacenar en un cuarto frío la temperatura debe ser menor a 18°C.
- Revisar y estudiar el manual de operación y mantenimiento, para que el usuario conozca como operar la máquina, que precauciones debe tener en cuenta y que aspectos considerar para asegurar un óptimo proceso de fundición del chocolate.

## **7. CAPITULO VII.- Bibliografía**

## **Referencias y Textos Consultados**

ANECACAO. “Historia del Cacao” [en línea]. 2012. <<http://www.anecacao.com/index.php/es/cacao-en-ecuador/historia-del-cacao.html>> [Consulta: 14 octubre 2012]

ANECACAO. “Estadísticas” [en línea]. 2012. <<http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas.html>> [Consulta: 14 octubre 2012]

Beckett, Stephen. 2000. “La ciencia del chocolate”. Editorial Acribia.

Esquerre, Willy . “MONOGRAFÍA TÉCNICA: Transvase del chocolate en fase fluida viscosa no newtoniana cálculo del equipo de bombeo de una planta de chocolate”. 2005. Universidad Mayor de San Marcos Lima Perú. Con colaboración del Laboratorio de la empresa GoodFoods S.A. (Ex -Winters)

Guisella, Pérez. 2006 “Mejora en el Proceso de Temperado del Chocolate en una Industria Chocolatera Ecuatoriana”. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Hockmeyer, Herman H. & O’Kelly, Matthew S. “Mixing blade assembly with trailing scrapers and method”. [en línea]. 14 Abril, 2010. <[http://www.google.com/patents/US7914200?dq=US2638329&ei=0ykfUJv\\_IpCm8QTe6IH0Cw](http://www.google.com/patents/US7914200?dq=US2638329&ei=0ykfUJv_IpCm8QTe6IH0Cw)> [Consulta: 27 octubre 2012]

Iñigo. 2000. “El chocolate y sus aplicaciones más comunes”. A *fuegolento.com – Algo se está cocinando*. <<http://www.afuegolento.com/noticias/45/firmas/murua/1859/>> [Consulta: 1 noviembre 2012]

Montgomery & Runger. “Probabilidad y Estadística aplicada a la ingeniería”. 2da Edición.

Quiroz, Irving. 2010. “Chocolate: el sabor que excita”. *PHRASEICUM – Reportaje*. Instituto Culinario de México.

SIEMENS. 2011 “Logo! Soft Comfort”. V7.0.30

“Baño María”. [en línea]. 2012. <<http://cocina.comohacerpara.com/n1274/como-derretir-el-chocolate-a-banio-maria.html>> [Consulta: 29 noviembre 2012]

“Brookfield DV-III Ultra”. Manual de Instrucción para Operaciones. [en línea]. 2011. <<http://www.viscometers.org/PDF/Manuals/laboratory/DV-III%20Ultra.pdf>> [Consulta: 20 noviembre 2012 ]

“CADESIMU”. [en línea]. 2011. <<http://dvnplus.blogspot.com/2011/07/cade-simu-10-programa-cad.html>> [Consulta: 3 noviembre 2012]

“Definición de automatizar”. Diccionario General de Español. [en línea]. 3 de marzo del 2011. <<http://www.alegsa.com.ar/Definicion/de/automatizar.php>> [Consulta: 1 diciembre 2012]

“LOGO! Soft Comfort”. [en línea]. 2012. <<http://librosdeelectronica.blogspot.com/2012/01/logo-soft-comfort.html>> [Consulta: 3 noviembre 2012]

“Los chocolates más exóticos se ofrecen en Quito”. El Comercio. [en línea]. 20 Mayo, 2011. <[http://www.elcomercio.com/pais/chocolates-exoticos-ofrecen-quito\\_0\\_48355176.html](http://www.elcomercio.com/pais/chocolates-exoticos-ofrecen-quito_0_48355176.html)> [Consulta: 28 octubre 2012]

“Optimización”. [en línea]. 2012. <<http://definicion.de/optimizacion>> [Consulta: 2 noviembre 2012]

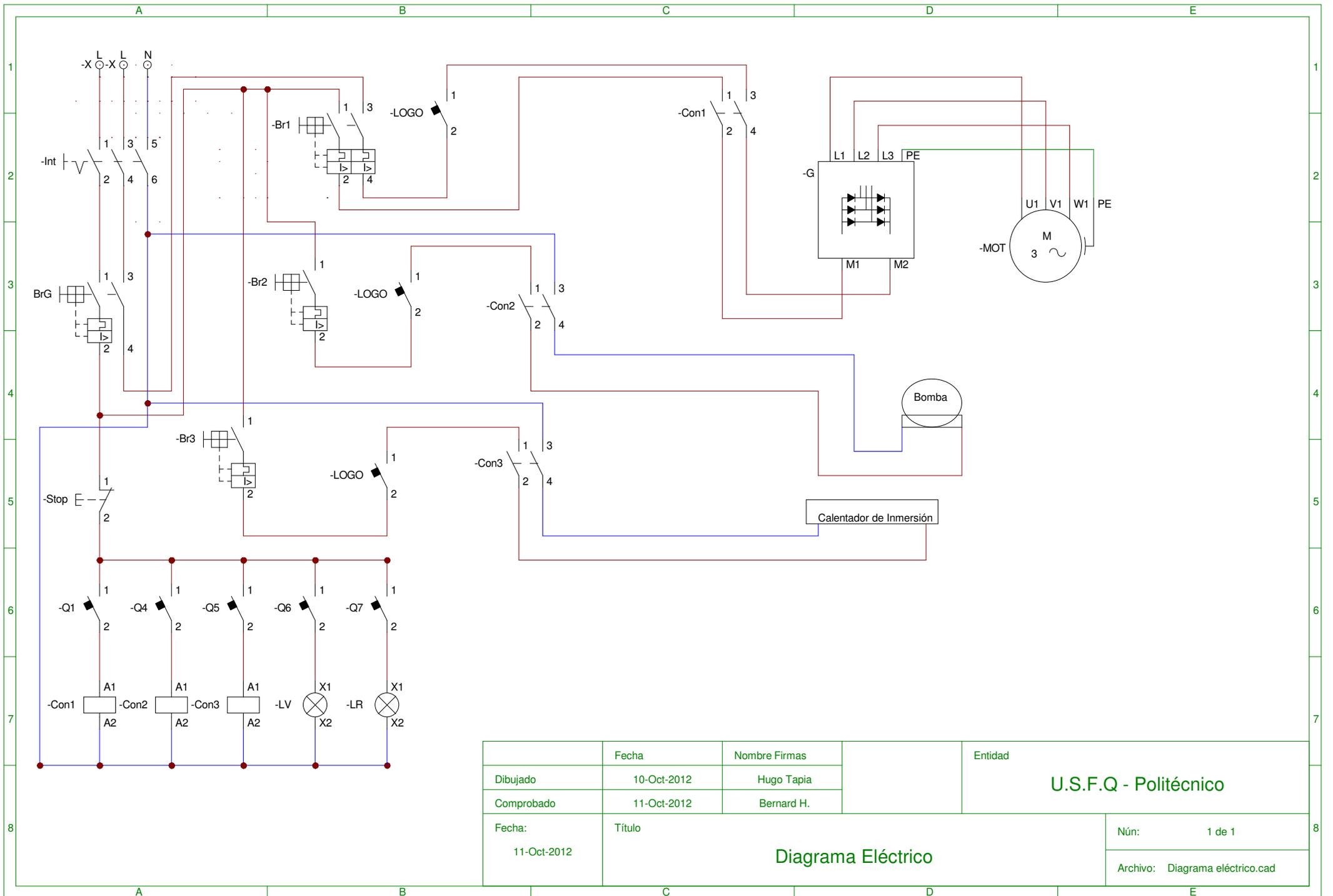
“Polimorfismo”. [en línea]. 2012. <<http://docencia.izt.uam.mx/epa/archivos/quimalim/lipidos.pdf>> [Consulta: 26 octubre 2012]

“Reómetro”. Wikipedia. [en línea]. 2 de marzo 2011. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Re%C3%B3metro>> [Consulta: 3 diciembre 2012]

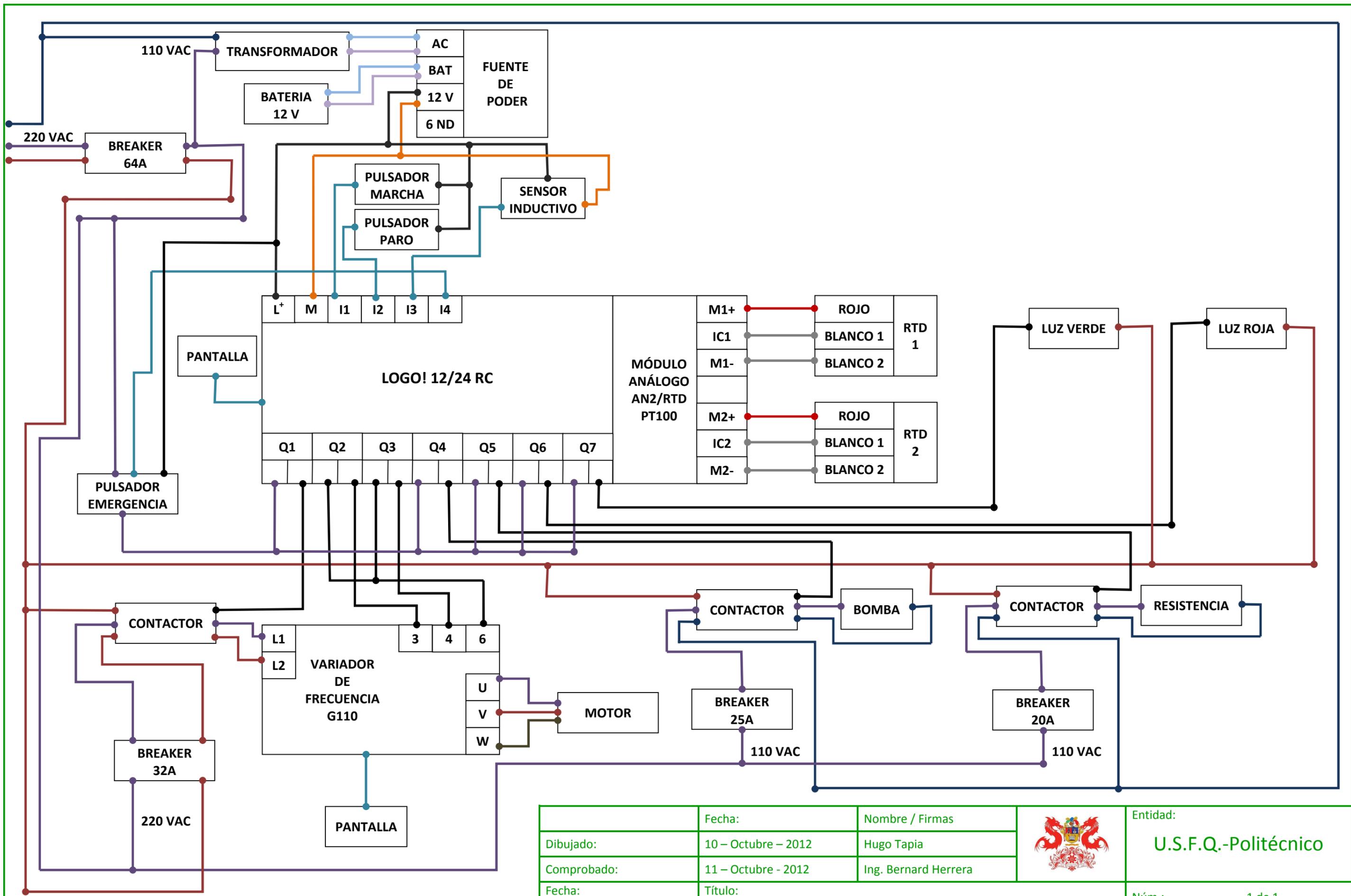
“Simulación por computadora”. Wikipedia. [en línea]. 26 de diciembre del 2012. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n\\_por\\_computadora](http://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n_por_computadora)> [Consulta: 2 diciembre 2012]

## **8. Anexos**

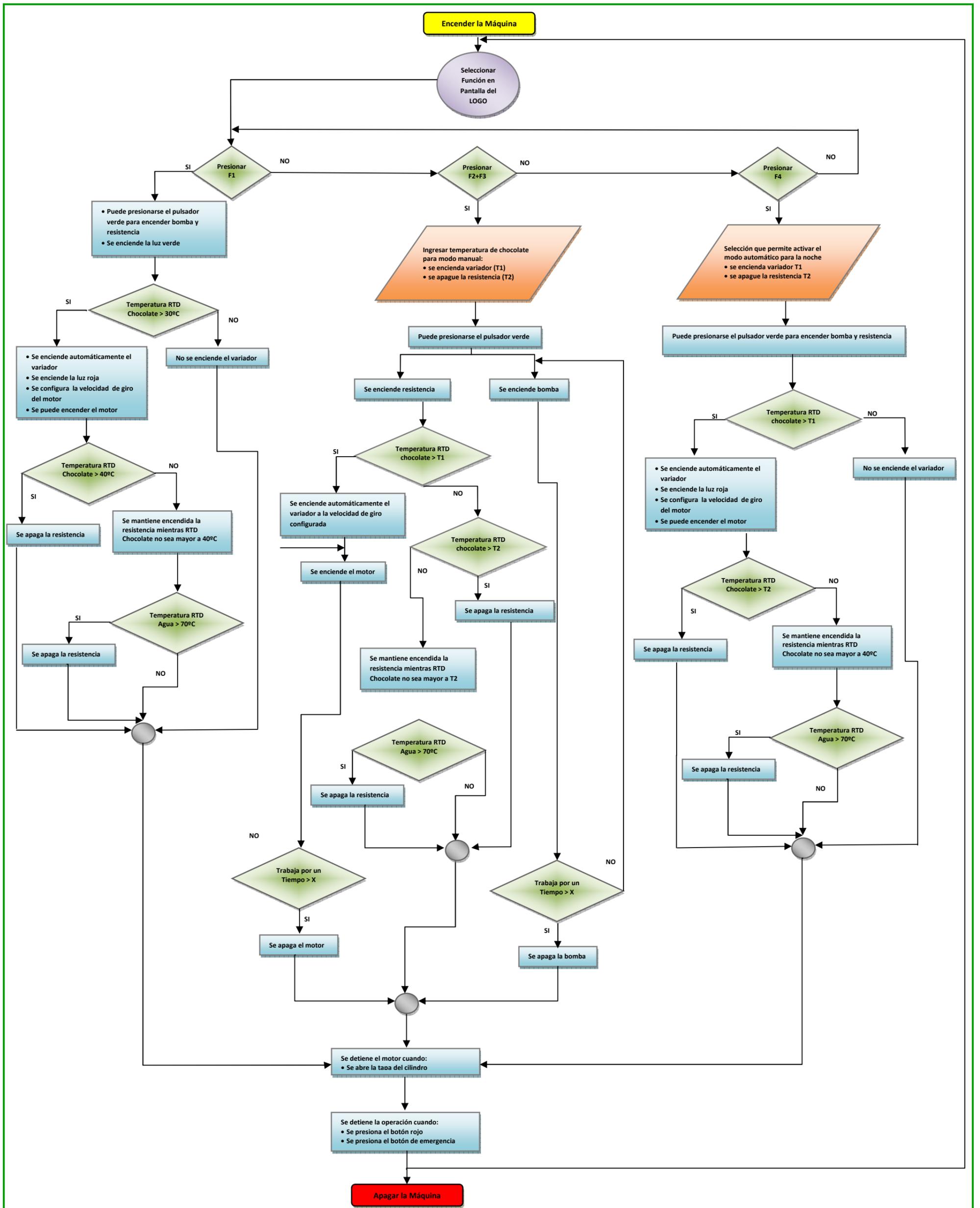
**ANEXO A**  
**Diagrama Eléctrico y de Control**



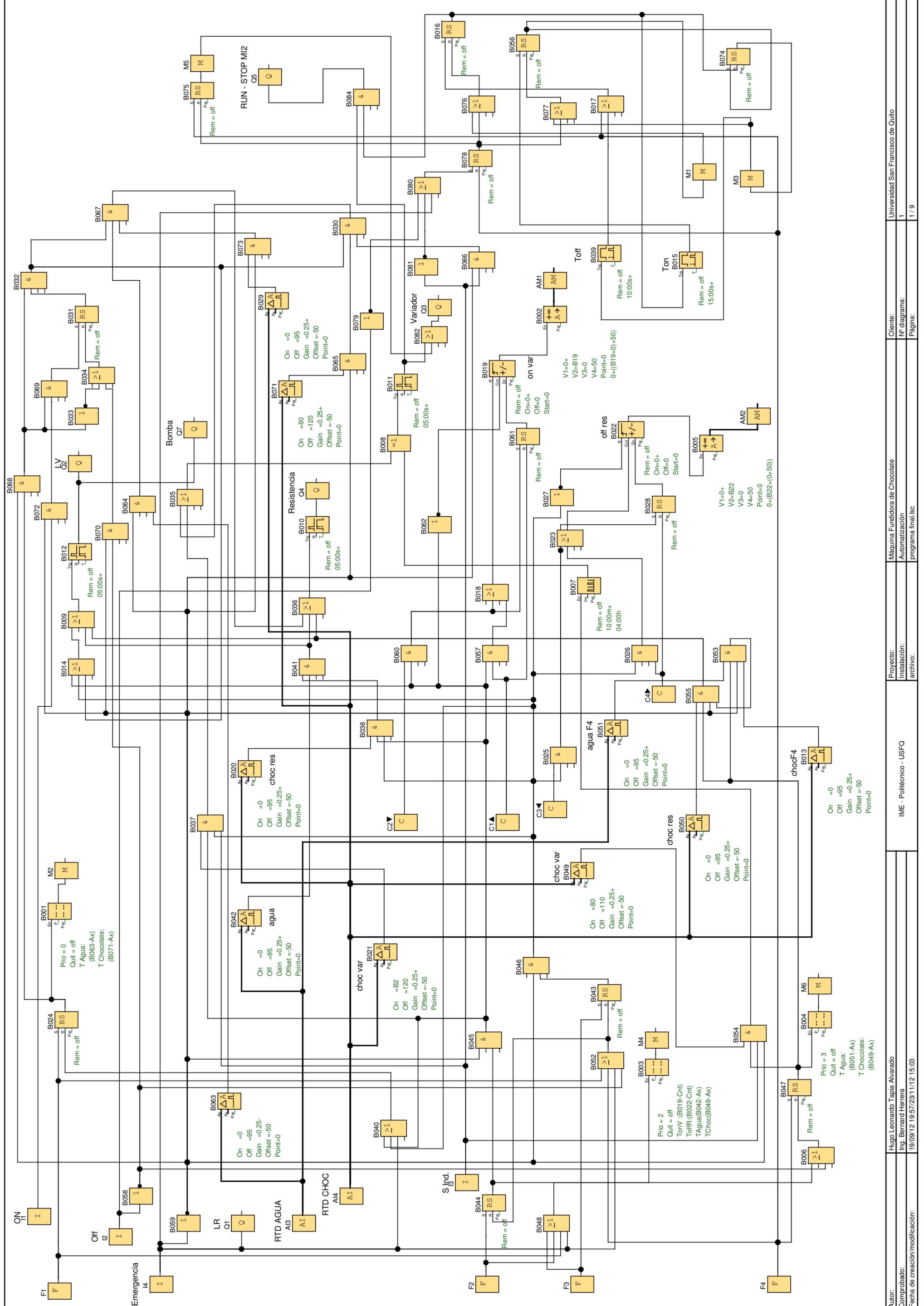
	Fecha	Nombre Firmas	Entidad
Dibujado	10-Oct-2012	Hugo Tapia	U.S.F.Q - Politécnico
Comprobado	11-Oct-2012	Bernard H.	
Fecha: 11-Oct-2012	Título <b>Diagrama Eléctrico</b>		Núm: 1 de 1
			Archivo: Diagrama eléctrico.cad



Fecha:	10 – Octubre – 2012	Nombre / Firmas		Entidad:	U.S.F.Q.-Politécnico
Dibujado:	11 – Octubre - 2012	Hugo Tapia		Núm.:	
Comprobado:		Ing. Bernard Herrera		Archivo:	Diagrama de Control.docx
Fecha:	11 – Octubre - 2012	Título:	<b>Diagrama de Control</b>		



	Fecha:	Nombre / Firmas		Entidad:
Dibujado:	10 – Octubre – 2012	Hugo Tapia		U.S.F.Q.-Politécnico
Comprobado:	11 – Octubre - 2012	Ing. Bernard Herrera		
Fecha: 11 – Octubre - 2012	Título:	<b>Diagrama de Flujo</b>		Núm.: 1 de 1
				Archivo: Diagrama de Flujo.docx



**ANEXO B**  
**Datos de Pruebas y Optimización**

Tabla 14.- Datos recolectados de la pruebas con chocolate del Cyril

Pruebas con Chocolate del Cyril				Fecha: 24/10/2012		
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones
1	11:57	18	17	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chocolate en caras internas del cilindro y en sistema de agitación</li> <li>• Tapas cerradas</li> </ul>
	12:42	28	20			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chocolate de las paredes inicia leve proceso de fundición</li> </ul>
	13:02	38	24			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se para la máquina</li> </ul>
	15:02	34	28			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reinicia la operación</li> </ul>
	15:23	45	31			<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se enciende motor por chocolate solidificado en el fondo</li> </ul>
	15:26	46	32			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se apagó la máquina para tomar tiempo en que se igualan las temperaturas</li> </ul>
	15:56	45	33			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se para completamente la operación por este día</li> </ul>

Tabla 15.- Datos recolectados de la prueba y calibración de la máquina N° 1

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 5/11/2012	
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones
1	9:46	19	18	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chocolate solidificado en caras internas del cilindro y en sistema de agitación</li> <li>• Tapas cerradas</li> <li>• Se inició con F1</li> </ul>
	9:48	20				
	9:50	21				
	9:52	22				
	9:54	23				
	9:55					
	9:56	24	19			
	9:58	25				
	10:00	26				
	10:02	27	20			
	10:03	28				
	10:05	29	21			
	10:06					
	10:07					
	10:09	31	22			
	10:11	32				
	10:13	33				
	10:15	34	23			
	10:16					
	10:17	35				
10:19	36	24				
10:21	37					
10:23	38					
10:25	39	25				
10:27	40					
10:29	41	26				
10:30						
10:31	42					
10:33	43					

	10:35	44					
	10:36						
	10:37	45	27				
	10:42		28				•Se para la máquina para evitar que $T_{H_2O} > 50^{\circ}C$ y se quemee el chocolate
	10:50		29				•No se enciende motor por chocolate solidificado en el fondo
	11:14	44	30			•Se para esta prueba	

Tabla 16.- Datos recolectados de las pruebas y calibración de la máquina N° 2

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 5/11/2012	
N° Prueba	Hora	$T_{H_2O}^{\circ}C$	$T_{Chocolate}^{\circ}C$	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones
2	12:26	40	31	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	• Se enciende la máquina
	12:30	42	32			• No se arranca motor porque falta chocolate por fundir
	12:34	44				• Se para la máquina para evitar que se quemee el chocolate y que se continúe con un proceso de fundición sin agitación para preservar la integridad de la RTD
	12:35	45				

Tabla 17.- Datos recolectados de la pruebas y calibración de la máquina N° 3

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 5/11/2012		
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones	
3	14:20	41	34	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reinicia la operación con F1</li> <li>• No se arranca motor porque falta chocolate por fundir</li> </ul>	
	14:22	42	35			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna novedad</li> </ul>	
	14:23						
	12:24	43					
	14:26	44	36				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se para la máquina para evitar que se quemé el chocolate y que se continúe con un proceso de fundición sin agitación para preservar la integridad de la RTD</li> </ul>
	14:27						
14:28	45						

Tabla 18.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 4

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 5/11/2012	
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones
4	15:23	44	37	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reinicia la operación con F1</li> <li>• Con la ayuda de una paleta se ayudó a la fundición del chocolate restante</li> </ul>
	15:26		38			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna novedad</li> </ul>
	15:32	46	39			
	15:37	47	40			

						agitación en REV con F=3 Hz
	15:43	48				• Se para la máquina para evitar que se queme el chocolate
	15:46		41			
	15:58	47	42			• Se continuó con el proceso de fundición con agitación
	16:15	46	43			

Tabla 19.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 5

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 5/11/2012	
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones
5	16:20	46	43	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	• Se inició la operación con F2+F3
	17:52	44	43			• Se inició sistema de agitación con F=3 Hz en variador
						• Se paró operación

Tabla 20.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 6

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 5/11/2012	
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones
6	18:22	43	42	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reinicia la operación con F1</li> <li>• Se inició la agitación con REV y F=3 Hz</li> </ul>
	18:35	42				41
	18:37					
	19:51	40	40			
	20:05	39	39			
	20:15					
	20:20	40	40			
	20:23	41				
	20:24	42				
	20:25	43				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se paró la operación para modificar parámetros</li> </ul>

Tabla 21.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 7

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 5/11/2012	
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones
7	20:45	40	39	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se inició con función F4 (noche)</li> <li>• A las 20:46 se arrancó el variador en REV y con F=3Hz</li> </ul>
	20:48	41				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna novedad</li> </ul>
	20:51	42				
	20:52	43				
	20:54	44				
	20:55	45	40			<ul style="list-style-type: none"> <li>• A las 20:56, luego de los 10 min de funcionamiento, por señal del logo se detiene la operación.</li> </ul>
	21:11	44				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se enciende la bomba y la resistencia ya que T<sub>H2O</sub> &lt; 45°C con el fin de mantener la temperatura del chocolate constante, a pesar de que deba ser una para de 2 horas para la máquina</li> </ul>
	21:12	45				
	21:17					
	21:22	44				
	21:23	45				
	21:34	44				
	21:35	45				
	21:45	44				
	21:46	45				
	21:57	44				
	21:58	45				
	22:02	42				
	22:09		44			
	22:10		45			
	22:22		44			
	22:23		45			
22:32	44					
22:33	45					
22:44	44					
22:45	45	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se para operación para revisar producto.</li> </ul>				

Tabla 22.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 8

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 5-6/11/2012		
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones	
8	23:00	44	42	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reinició con el programa F4 (noche)</li> <li>• Se arrancó el variador en REV y con F=3Hz</li> </ul>	
	23:01	45				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se apaga el variador a los 10 minutos de funcionamiento 23:10</li> </ul>	
	23:16	44				43	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se enciende la bomba y la resistencia ya que T<sub>H2O</sub> &lt; 45°C con el fin de mantener la temperatura del chocolate constante, a pesar de que deba ser una para de 2 horas para la máquina</li> </ul>
	23:17	45					
	23:28	44					
	23:29	45					
	23:33	45					
	23:39	44					
	23:40	45					
	23:50	44					
	23:51	45					
	00:03	44					
	00:04	45					
	00:14	44					
	00:15	45					
	00:26	44					
	00:27	45					
	00:39	44					
	00:40	45					
	00:52	44					
	00:53	45					
	1:03	44					
	1:04	45					
1:11	44						
1:12	45		<ul style="list-style-type: none"> <li>• A las 1:10 se encendió el variador y se procedió con el encendido del sistema de agitación con la</li> </ul>				

						misma condición • A la 1:20 se apagó el variador y se paró la prueba
--	--	--	--	--	--	---

Tabla 23.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 9

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 6/11/2012	
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones
9	1:30	44	43	5 kg	Mezcla: 2kg Cobertura 2kg Amargo 1Kg Dulce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reinició con el programa F4 (noche)</li> <li>• Se arrancó el variador en REV y con F=3Hz</li> </ul>
	1:31	45				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se apaga el variador a los 10 minutos de funcionamiento</li> </ul>
	1:45	44				
	1:46	45				
	1:58	44				
	1:59	45				
	2:11	45				
	2:12	44				
	2:24	45				
	2:25	44				
	2:35	45				
	2:36	44				
	2:47	45				
	2:48	44				
2:59	45					
						<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se enciende la bomba y la resistencia ya que T<sub>H2O</sub> &lt; 45°C con el fin de mantener la temperatura del chocolate constante, a pesar de que deba ser una para de 4 horas para la máquina</li> </ul>

	3:00	44				
	3:10	45				
	3:11	44				
	3:21	45				
	3:22	44				
	3:33	45				
	3:34	44				
	3:46	45				
	3:47	44				
	3:58	45				
	3:59	44				
	4:10	45				
	4:11	44				
	4:21	45				
	4:22	44				
	4:33	45				
	4:34	44				
	4:47	45				
	4:48	44				
	4:59	45				
	4:50	44				
	5:11	45				
	5:12	44				
	5:24	45				
	5:25	44				
	5:35	45				
	5:36	44				
	5:43	45				
	5:44	44				<ul style="list-style-type: none"> <li>● A las 5:40 se encendió el variador y se procedió con el encendido del sistema de agitación con la misma condición</li> <li>● Se agita por 10 min</li> <li>● A la 5:50 se apagó el variador y se paró la prueba para cambiar de función</li> </ul>

Tabla 24.- Datos recolectados de prueba y calibración de la máquina N° 10

Pruebas y Calibración de la Máquina					Fecha: 6/11/2012		
N° Prueba	Hora	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>Chocolate</sub> °C	Cantidad Chocolate	Tipo Chocolate	Observaciones	
10	13:45	45	43	15 kg	Mezcla: 2 kg Cobertura 2 kg Amargo 11Kg Dulce	• Se dejó fundiendo el chocolate sin agitación.	
	13:50		42				
	15:50	44	38			• Se accionó F1 para agilitar el proceso de fundición • No se utiliza agitación hasta que T <sub>chocolate</sub> > 40°C	
	16:00	45	40				
	16:07						39
	16:20						40
	16:30						41
	16:50						42

## **ANEXO C**

### **Informe de Pruebas para Análisis de Producto**

Rheocalc V3.3 Build 49-1			Brookfield Engineering Labs					
File: C:\PROGRAM FILES\BEL\DATA\CHOCOLATE 1.DB								
Test Date: 11/29/2012 Test Time: 10:09:25 AM			Model: LV		Spindle: LV4			
Sample Name:								
#	Viscosity (cP)	Speed (RPM)	% Torque (%)	Shear Stress (D/cm <sup>2</sup> )	Shear Rate (1/sec)	Temperature (°C)	Bath (°C)	Time Interval (mm:ss.t)
1	272941.76	1.00	45.5	0.00	0.00	44.4	EEEE	00:00:10.1
2	289138.30	1.00	48.2	0.00	0.00	44.4	EEEE	00:00:10.2
3	272941.76	1.00	45.5	0.00	0.00	44.5	EEEE	00:00:10.1
4	239348.93	1.00	39.9	0.00	0.00	44.4	EEEE	00:00:10.2
5	228551.23	1.00	38.1	0.00	0.00	44.4	EEEE	00:00:10.1

Notes:

Rheocalc V3.3 Build 49-1			Brookfield Engineering Labs					
File: C:\PROGRAM FILES\BEL\DATA\CHOCOLATE 2.DB								
Test Date: 11/29/2012 Test Time: 10:13:07 AM			Model: LV		Spindle: LV4			
Sample Name:								
#	Viscosity (cP)	Speed (RPM)	% Torque (%)	Shear Stress (D/cm <sup>2</sup> )	Shear Rate (1/sec)	Temperature (°C)	Bath (°C)	Time Interval (mm:ss.t)
1	431907.84	0.10	7.2	0.00	0.00	44.5	EEEE	00:00:10.2
2	310733.70	0.50	25.9	0.00	0.00	44.5	EEEE	00:00:10.1
3	250746.50	1.00	41.8	0.00	0.00	44.5	EEEE	00:00:10.1
4	206355.97	1.50	51.6	0.00	0.00	44.6	EEEE	00:00:10.1
5	162565.31	2.00	54.2	0.00	0.00	44.5	EEEE	00:00:10.1

Notes:

Rheocalc V3.3 Build 49-1				Brookfield Engineering Labs				
File: C:\PROGRAM FILES\BEL\DATA\CHOCOLATE 3.DB								
Test Date: 12/4/2012 Test Time: 9:48:16 AM				Model: LV		Spindle: LV4		
Sample Name:								
#	Viscosity (cP)	Speed (RPM)	% Torque (%)	Shear Stress (D/cm <sup>2</sup> )	Shear Rate (1/sec)	Temperature (°C)	Bath (°C)	Time Interval (mm:ss.t)
1	737842.56	0.10	12.3	0.00	0.00	39.2	EEEE	00:00:10.1
2	491895.04	0.50	41.1	0.00	0.00	39.2	EEEE	00:00:10.1
3	445105.02	1.00	74.2	0.00	0.00	39.2	EEEE	00:00:10.2
4	332729.00	1.50	83.2	0.00	0.00	39.2	EEEE	00:00:10.1
5	251046.43	2.00	83.7	0.00	0.00	39.1	EEEE	00:00:10.1

Notes:

Rheocalc V3.3 Build 49-1				Brookfield Engineering Labs				
File: C:\PROGRAM FILES\BEL\DATA\CHOCOLATE 3.1.DB								
Test Date: 12/4/2012 Test Time: 11:15:40 AM				Model: LV		Spindle: LV4		
Sample Name:								
#	Viscosity (cP)	Speed (RPM)	% Torque (%)	Shear Stress (D/cm <sup>2</sup> )	Shear Rate (1/sec)	Temperature (°C)	Bath (°C)	Time Interval (mm:ss.t)
1	209955.20	0.10	3.5	0.00	0.00	44.7	EEEE	00:00:10.2
2	173962.88	0.50	14.5	0.00	0.00	44.7	EEEE	00:00:10.1
3	127772.74	1.00	21.3	0.00	0.00	44.6	EEEE	00:00:10.1
4	99578.75	1.50	24.9	0.00	0.00	44.6	EEEE	00:00:10.1
5	82782.34	2.00	27.6	0.00	0.00	44.7	EEEE	00:00:10.1

Notes:

Rheocalc V3.3 Build 49-1				Brookfield Engineering Labs				
File: C:\PROGRAM FILES\BEL\DATA\CHOCOLATE 3.2.DB								
Test Date: 12/4/2012 Test Time: 12:19:03 PM				Model: LV		Spindle: LV4		
Sample Name:								
#	Viscosity (cP)	Speed (RPM)	% Torque (%)	Shear Stress (D/cm <sup>2</sup> )	Shear Rate (1/sec)	Temperature (°C)	Bath (°C)	Time Interval (mm:ss.t)
1	179961.60	0.10	3.0	0.00	0.00	50.3	EEEE	00:00:10.2
2	148768.26	0.50	12.4	0.00	0.00	50.4	EEEE	00:00:10.1
3	109776.58	1.00	18.3	0.00	0.00	50.4	EEEE	00:00:10.1
4	86381.57	1.50	21.6	0.00	0.00	50.4	EEEE	00:00:10.2
5	75883.81	2.00	25.3	0.00	0.00	50.4	EEEE	00:00:10.1

Notes:

Rheocalc V3.3 Build 49-1				Brookfield Engineering Labs				
File: C:\PROGRAM FILES\BEL\DATA\CHOCOLATE 3.3.DB								
Test Date: 12/4/2012 Test Time: 1:12:25 PM				Model: LV		Spindle: LV4		
Sample Name:								
#	Viscosity (cP)	Speed (RPM)	% Torque (%)	Shear Stress (D/cm <sup>2</sup> )	Shear Rate (1/sec)	Temperature (°C)	Bath (°C)	Time Interval (mm:ss.t)
1	215953.92	0.10	3.6	0.00	0.00	39.0	EEEE	00:00:10.1
2	172763.14	0.50	14.4	0.00	0.00	39.0	EEEE	00:00:10.1
3	130172.22	1.00	21.7	0.00	0.00	39.0	EEEE	00:00:10.1
4	101978.24	1.50	25.5	0.00	0.00	39.0	EEEE	00:00:10.2
5	95679.58	2.00	31.9	0.00	0.00	39.0	EEEE	00:00:10.1

Notes: