

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO E INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:  
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA MÁQUINA  
BATIDORA DE TURRÓN EN LA EMPRESA EL SALINERITO**

**AUTORES:  
DANNY PATRICIO COFRE GONZÁLEZ  
LUCERO MARIBEL PÉREZ CUÁSQUER**

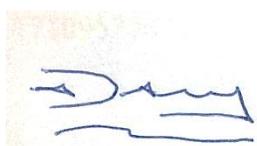
**TUTORA:  
LUISA FERNANDA SOTOMAYOR REINOSO**

**Quito, enero del 2018**

## CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR

Nosotros Danny Patricio Cofre González, con documento de identificación N.º 1717162406 y Lucero Maribel Pérez Cuásquer, con documento de identificación N.º 1719038067, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado/titulación intitulado: “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA MÁQUINA BATIDORA DE TURRÓN DE LA EMPRESA EL SALINERITO”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de ingeniero electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación en lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Danny Patricio Cofre González

Cédula: 1717162406



.....  
Lucero Maribel Pérez Cuásquer

Cédula: 1719038067

Enero del 2018

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA MÁQUINA BATIDORA DE TURRÓN DE LA EMPRESA EL SALINERITO, realizado por Danny Patricio Cofre González y Lucero Maribel Pérez Cuásquer, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo de titulación.

Quito, Enero del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luisa Fernanda Sotomayor Reinoso', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Luisa Fernanda Sotomayor Reinoso

CI: 1710953967

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mis padres Víctor y Clara que con tanto esfuerzo y dedicación me hicieron un hombre de bien e hicieron todo cuanto estuvo en sus manos por darme la oportunidad de estudiar para ser un buen profesional, a mis hermanos por ayudarme a culminar lo que mis padres empezaron.

Danny Patricio Cofre González

Dedico el proyecto a mi hijo por ser quien me ha inspirado llegar a culminar mis estudios para brindarle un ejemplo de ser una profesional, a mis padres por brindarme su apoyo incondicional, comprensión y darme fuerzas hasta la culminación de mis estudios, a mi hermana que gracias a sus buenos consejos me ha inspirado a seguir adelante, a mi compañero de trabajo que a su dedicación, responsabilidad, paciencia hayamos logrado culminar con éxitos nuestro proyecto de titulación.

Lucero Maribel Pérez Cuásquer

## **AGRADECIMIENTO**

A todos quienes conforman la Familia Salesiana de Salinas de Guaranda especialmente a la fábrica de confites por su apoyo y su confianza depositada para el correcto desarrollo del proyecto.

A la Universidad Politécnica Salesiana por acogernos en sus aulas todos estos años, a los docentes que fueron parte de nuestra formación académica en especial a Italo Jumbo por su confianza depositada al sugerirnos el proyecto y a nuestra tutora la Ing. Luisa Sotomayor por guiarnos y aconsejarnos durante el desarrollo del mismo.

Danny y Lucero

A Dios por darme las fuerzas y ponerme siempre en el camino correcto para alcanzar mis metas, a mis padres por darme la vida, por enseñarme desde niño la importancia del estudio, del esfuerzo y de la perseverancia, a mis hermanos por su apoyo y compañía en esta etapa, a mi compañera de proyecto por su esfuerzo y dedicación.

Danny Patricio Cofre González

A Dios y a la Virgen María por guiarme con su luz no abandonándome en el trascurso del camino como estudiante y en la culminación del proyecto. A mis padres por ser parte fundamental en el apoyo diario y constante que me han proporcionado las herramientas necesarias para enfrentar los obstáculos del camino.

Lucero Maribel Pérez Cuásquer

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR .....	ii
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCION .....	xiii
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo General.....	1
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Justificación del proyecto .....	2
1.4 Alcance .....	2
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>3</b>
ESTADO DEL ARTE.....	3
2.1 Estado Actual.....	3
2.2 Etapas del proceso de batido de la máquina batidora de turrón.....	5
2.3 Protocolos de comunicación .....	6
2.3.1 Protocolo MODBUS.....	6
2.3.2 Protocolo Ethernet .....	7
2.4 Controlador Lógico Programable (PLC) .....	8
2.4.1 Funcionamiento del PLC .....	8
2.4.2 Clasificación de los PLC´s.....	8
2.5 Interfaz Humano Máquina (HMI).....	9
2.5.1 Funcionamiento de una HMI .....	9
2.5.2 Tipos de HMI.....	9
2.6 Sensores de temperatura .....	10
2.6.1 Tipos de sensores de temperatura .....	10
2.7 Elementos de la máquina batidora de turrón .....	10
2.7.1 Variador de frecuencia.....	11
2.7.2 Motor AC trifásico SIEMENS.....	11

2.7.3 Pirómetro REX-C900 CAMSCO.....	13
2.7.4 Electroválvula .....	14
2.7.5 Trampa de vapor .....	14
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>16</b>
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	16
3.1 Visión General .....	16
3.2 Sistema de control.....	18
3.2.1 Hardware.....	18
3.2.2 Software .....	27
3.3 Implementación .....	36
3.3.1 Implementación del tablero de control .....	36
3.3.2 Implementación de los equipos en el tablero.....	37
3.3.3 Implementación de los equipos y sensores de campo.....	38
3.3.4 Cableado eléctrico.....	39
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>45</b>
PRUEBAS Y RESULTADOS .....	45
4.1 Pruebas de funcionamiento del sistema .....	45
4.1.1 Pruebas de validez del sistema de control .....	47
4.1.2 Pruebas de validación del sistema de potencia .....	48
4.2 Pruebas de producción del nuevo sistema .....	49
4.2.1 Pruebas en modo manual .....	49
4.2.2 Pruebas en modo automático .....	54
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>57</b>
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES .....	57
5.1 Conclusiones.....	57
5.2 Recomendaciones .....	57
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1 Arquitectura del sistema de control básico.....	3
Figura 2.2 Diagrama de etapas de la batidora de turrón del Salinerito.....	4
Figura 2.3 Diagrama de flujo del proceso de batido de la máquina.....	5
Figura 2.4 Variador de frecuencia.....	11
Figura 2.5 Motor AC trifásico Siemens con caja reductora.....	12
Figura 2.6 Pirómetro REX-C900 marca CAMSCO.....	13
Figura 2.7 Electroválvula de la batidora de turrón.....	14
Figura 2.8 Trampa de vapor NICHOLSON de la batidora de turrón.....	14
Figura 3.1 Arquitectura del nuevo sistema.....	16
Figura 3.2 Diagrama de flujo del diseño propuesto.....	17
Figura 3.3 PLC PM554-ETH.....	18
Figura 3.4 Configuración del puerto serial.....	19
Figura 3.5 Configuración de los parámetros MODBUS.....	20
Figura 3.6 Módulo análogo AI563.....	21
Figura 3.7 Configuración del módulo análogo AI563.....	22
Figura 3.8 Pantalla CP630-WEB.....	22
Figura 3.9 Configuración del servidor web remoto.....	23
Figura 3.10 Configuración del panel touch.....	24
Figura 3.11 Variador de frecuencia SV037IG5-2.....	24
Figura 3.12 Terminales del variador de frecuencia.....	26
Figura 3.13 Diseño de la parte frontal del tablero.....	27
Figura 3.14 Librería COM_MOD_MAST.....	28
Figura 3.15 Configuración de la librería COM_MOD_MAST.....	29
Figura 3.16 Bloque de función de la temperatura.....	29
Figura 3.17 Curva de la temperatura.....	30
Figura 3.18 Estructura del proyecto.....	32
Figura 3.19 Pantalla de inicio de la HMI.....	32
Figura 3.20 Panel de control de la HMI.....	33
Figura 3.21 Pantalla de configuración de la temperatura.....	34
Figura 3.22 Pantalla de configuración de la velocidad.....	34
Figura 3.23 Pantalla de control automático.....	35
Figura 3.24 Configuración de la receta del turrón.....	35

Figura 3.25 Implementación del plafón. ....	36
Figura 3.26 Colocación del tablero de control. ....	36
Figura 3.27 Montaje de los equipos. ....	37
Figura 3.28 Instalación de los equipos en la parte frontal del tablero.....	38
Figura 3.29 Instalación de canaleta del sensor de temperatura.....	38
Figura 3.30 Cableado del sistema de control. ....	39
Figura 3.31 Cableado del sistema de comunicación. ....	40
Figura 3.32 Cableado de entradas y salidas. ....	40
Figura 3.33 Cableado del sistema de potencia. ....	41
Figura 3.34 Protección de la electroválvula. ....	41
Figura 3.35 Ventilador extractor. ....	42
Figura 3.36 Ventilador. ....	43
Figura 3.37 Tubería de ventilación. ....	43
Figura 3.38 Protección con el sistema apagado. ....	44
Figura 3.39 Protección con el sistema encendido. ....	44
Figura 4.1 Configuración de los parámetros de funcionamiento. ....	49
Figura 4.2 Configuración de la máquina para la primera prueba.....	50
Figura 4.3 Toma de muestras de la primera prueba. ....	50
Figura 4.4 Limpieza de máquina.....	52
Figura 4.5 Configuración automática del sistema.....	54

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 2.1 Sintaxis de las pruebas de la caracterización. ....	4
Tabla 2.2 Campos principales de una trama MODBUS. ....	6
Tabla 2.3 Códigos de función del protocolo MODBUS. ....	7
Tabla 2.4 Datos técnicos del Motor Trifásico 1LA7 112-4YA60. ....	12
Tabla 2.5 Datos técnicos del pirómetro CAMSCO REX-C900. ....	13
Tabla 2.6 Datos técnicos de la trampa de vapor NICHOLSON FTN. ....	15
Tabla 3.1 Datos técnicos del PLC AC500eCO. ....	19
Tabla 3.2 Datos técnicos del módulo análogo AI563. ....	21
Tabla 3.3 Datos técnicos del panel de control CP630-WEB. ....	23
Tabla 3.4 Datos técnicos del variador SV037IG5-2. ....	25
Tabla 3.5 Configuración del variador de frecuencia. ....	25
Tabla 3.6 Calibración del sensor de temperatura. ....	30
Tabla 3.7 Muestras de temperatura. ....	31
Tabla 4.1 Comprobación del montaje de los equipos e instrumentos. ....	45
Tabla 4.2 Comprobación del conexionado del tablero. ....	46
Tabla 4.3 Comprobación del estado de los equipos. ....	47
Tabla 4.4 Comprobación del sistema de control. ....	47
Tabla 4.5 Comprobación del sistema de potencia. ....	48
Tabla 4.6 Comprobación de los parámetros de funcionamiento. ....	48
Tabla 4.7 Prueba en modo manual número 1 turrón de maní. ....	51
Tabla 4.8 Sintaxis de las pruebas realizadas. ....	51
Tabla 4.9 Prueba número 1 turrón de macadamia. ....	53
Tabla 4.10 Sintaxis de las pruebas realizadas. ....	54
Tabla 4.11 Prueba número 1 modo automático turrón de maní. ....	55
Tabla 4.12 Sintaxis de las pruebas realizadas de modo automático. ....	56
Tabla 4.13 Cálculo de error de la temperatura de la masa. ....	56

## RESUMEN

El presente documento describe el diseño e implementación del control para la batidora de turrón dentro de la empresa El Salinerito que tiene como finalidad realizar la optimización del proceso, para mejorar el sistema básico y artesanal que dependía de los operadores. El nuevo sistema de control se basó en la caracterización de la máquina cuyas variables son temperatura, velocidad de giro del motor y tiempo de trabajo. Se usó dispositivos industriales capaces de realizar y garantizar el buen funcionamiento de la batidora, estos son: un PLC PM554-ETH-TC, modulo análogo AI563, una pantalla Touch CP630-WEB, un variador de frecuencia IG5-A y un tablero de control que contará con todas las protecciones necesarias para el sistema. El PLC será el encargado de realizar la comunicación con el variador de frecuencia, el control de la activación de una electroválvula y control del paro de emergencia. La pantalla Touch realiza la interacción con el operador encargado. El tablero de control que contiene todos los dispositivos de control y de protección, es de acero inoxidable con grado de protección IP-66. Con el nuevo sistema instalado se realizaron pruebas de funcionamiento que permitieron comprobar la linealidad de los parámetros de control de la máquina y una notable mejora en los tiempos de batido de aproximadamente el 40%, porcentaje obtenido de numerosas pruebas de producción realizadas. El sistema ayuda a mantener una receta exacta del producto y ofrece la opción de guardarla para futuras producciones, conservando la calidad tan distinguida del turrón.

## **ABSTRACT**

This document describes the design and implementation of the control for the battery of Turron within the company El Salinerito, which aims to optimize the process, to improve the basic and manual system that depends on the operators. The new control system was based on the characterization of the machine. Variables are temperature, engine speed and working time. These devices can be used and secured by the proper functioning of the battery, these are: a PLC PM554-ETH-TC, analogous module AI563, a touch screen CP630-WEB, a frequency inverter IG5-A and a control board that will have all the necessary protections for the system. The PLC has the task of communicating with the frequency inverter, controlling the activation of a solenoid valve and controlling the emergency stop. The Touch Screen performs the interaction with the operator in charge. The control panel that contains all the control and protection devices is made of stainless steel with IP-66 protection degree. With the new system installed performance tests were performed that allowed to verify the linearity of the control parameters of the machine and a remarkable improvement in the duration times of 40%, percentage obtained from numerous production tests carried out. The system helps to maintain an exact recipe of the product and offers the option of saving it for future productions, preserving the quality so distinguished of the nougat.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años la industria de confites ha crecido de forma continua en todo el mundo, es un campo que cambia constantemente con los gustos de cada generación motivo por el cual las empresas se ven en la necesidad de mejorar sus productos y su elaboración. En este campo la empresa el Salinerito que funciona en Salinas de Guaranda en la provincia de Bolívar, en los últimos años ha optado por ingresar a la industria de confites con su producto turrón de maní y turrón de macadamia. En este proceso un punto estratégico es la elaboración del turrón para la cual dispone de una batidora conformada por un bol y un control basado en la pericia de los operarios.

En este proyecto se mejoró el sistema de control de la batidora de turrón para garantizar los parámetros de preparación manteniendo la calidad del producto. Para culminar con éxito el proyecto se lo dividió en 5 capítulos.

En el capítulo 1 se detalla el problema a resolver, la justificación, los objetivos generales, los objetivos específicos planteados y los beneficiarios para la realización de este proyecto.

En el capítulo 2 se describe el estado del arte que resume la investigación realizada para el desarrollo del proyecto y se detalla el estado inicial en el que se encontraba la máquina.

En el capítulo 3 se hace referencia al diseño e implementación del proyecto a nivel de software y hardware donde se hace una revisión rápida de las características de los equipos utilizados.

En el capítulo 4 se muestran los resultados y las pruebas de funcionamiento del proyecto para garantizar que el sistema de control sea óptimo.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El grupo Familia Salesiana EL SALINERITO fue formado en 1970 por voluntarios salesianos en conjunto con la comunidad, se encuentra ubicada en el pueblo de Salinas de Guaranda en la provincia de Bolívar. Oficialmente la empresa abre sus puertas en el año de 1992 dedicándose a la hilandería, a la producción de quesos, pero principalmente a la producción de confites entre los cuales ofrecen chocolates rellenos con pájaro azul, chocolates con sabor a menta, chocolates de canela y chocolate blanco, aunque el fuerte de la empresa que es la producción de turrón, de los cuales destacan turrónes con maní y turrónes con macadamia.

Dentro del proceso de producción de confites de la empresa El Salinerito, se realiza la preparación de turrónes de diferentes texturas para el cliente. Con una gran variedad de ingredientes los turrónes de El Salinerito son unos de los principales productos por su significativo aporte a la economía de la empresa y por eso la importancia de la correcta preparación del turrón.

La tecnología usada en la preparación del turrón es a base de una batidora industrial que posee un control básico que no permite determinar con exactitud el número de revoluciones por minuto (RPM) del motor, un factor muy importante para la textura final del producto. Tampoco posee un sistema que permita determinar los niveles de temperatura de la máquina y de la materia prima, todos los equipos encontrados en esta área de producción son manipulados por operarios capacitados.

### **1.2 Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema de control electrónico para la máquina batidora de turrón en la empresa El Salinerito.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Analizar el funcionamiento y el estado actual de la batidora de turrón para la caracterización de la máquina.
- Diseñar un sistema de automatización para la máquina batidora de turrón utilizando un controlador lógico programable y una interfaz HMI.
- Implementar el sistema de control diseñado para la preparación del turrón en condiciones específicas.
- Validar el sistema implementado mediante pruebas de producción.

### **1.3 Justificación del proyecto**

La mejora del sistema de control y manejo de la batidora Industrial con alta tecnología incorporando equipos adecuados que tienen como finalidad proporcionar seguridad en el manejo y operación de la máquina brindando confianza a los operadores dentro del proceso de preparación del turrón.

El proyecto está destinado a proporcionar un nuevo sistema que remplace la manipulación de los parámetros de temperatura del bol, velocidad del motor y tiempo de batido de la masa del turrón proyectándose a la automatización del proceso.

La tecnología que se utilizará consta de un PLC para controlar las variables de velocidad (RPM), temperatura y tiempo dándole un enfoque dinámico a la operación con un HMI que facilitará la comunicación entre la batidora de turrón y el operador.

Con este proyecto se conservarán los parámetros de calidad en la preparación del producto sin alteraciones en las recetas y en el proceso de batido de la masa del turrón que por su calidad tiene gran acogida dentro del mercado.

### **1.4 Alcance**

La empresa El Salinerito será beneficiario directo al tener un sistema que le permita garantizar la elaboración del turrón cumpliendo con exactitud los parámetros requeridos en el proceso como son el control de las revoluciones (RPM) de la batidora, la temperatura de la máquina y el tiempo de batido, siendo la problemática principal para llegar a la optimización de recursos y tiempos de elaboración.

## CAPÍTULO 2

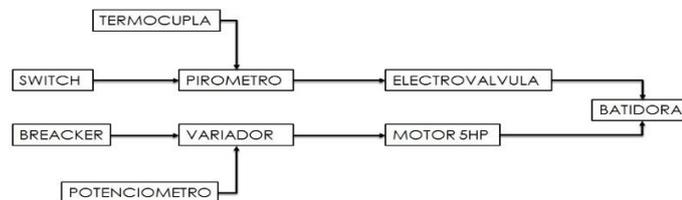
### ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 Estado Actual

La fábrica de confites El Salinerito empezó su actividad en el año 1992 con la producción artesanal del “Chocolate de taza” haciendo uso de la materia prima local como: maní, miel, cacao y macadamia. Con el incremento de la demanda de los confites se desarrollan nuevos productos según la diversidad del mercado entre ellos se encuentran: pasta de cacao, chocolates, mermeladas, turrónes y otras variedades de confites. Debido a la buena acogida de los productos la empresa se ve en la necesidad de adquirir máquinas para acelerar el proceso de producción, una de sus primeras adquisiciones fue la batidora industrial para turrón que consta de un bol, un motor que mueve las aspas de la batidora y una electroválvula para el control de la temperatura del bol. Su funcionamiento es totalmente electromecánico y con un control básico propio de la época en la que fue adquirida.

Los confites de El Salinerito se producen bajo la norma INEN 2217 en donde se detallan las disposiciones generales, así como los requisitos para la preparación de turrónes con fines comerciales. Para la producción de turrón la empresa cuenta con una batidora industrial construida de manera artesanal para cubrir sus necesidades en la demanda del producto, para acelerar el proceso de batido la máquina es controlada por un motor trifásico de corriente alterna y este a su vez es operado por un variador de frecuencia, el control de la temperatura se lo hace a través de un pirómetro y una termocupla instalada en la máquina como se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1 Arquitectura del sistema de control básico



Arquitectura del sistema de control obtenida en la caracterización. (Pérez & Cofre)

La mezcla para el turrón tiene que batirse a una velocidad, temperatura y tiempo que son indicadas en la receta de la empresa, por lo que las revoluciones por minuto (RPM)

de la máquina y el control de temperatura son variables claves para el correcto batido de la masa del turrón, así como la constante supervisión del proceso por parte del operador para comprobar que la mezcla de turrón tenga la consistencia deseada y este esté bajo los estándares de calidad que maneja la empresa.

Al tener un sistema de control básico la máquina es insegura y poco precisa en el manejo y operación debido a que el operador tiene que comprobar constantemente la contextura de la mezcla con la máquina en movimiento. Al no tener un valor exacto de las revoluciones del motor el operador tiene que realizar un aproximado de las RPM ayudado de un reloj mientras el eje del motor da vueltas, lo cual significa tiempo sin producir y un valor poco confiable, lo mismo sucede con la temperatura, donde el operador tiene que configurar un valor aproximado, lo que en ocasiones provoca que el producto no tenga la contextura deseada por el cliente o la masa de turrón se quemé antes del tiempo estimado, las tablas de pruebas se pueden observar con mayor detalle en el Anexo 8, la sintaxis de los parámetros de la máquina se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Sintaxis de las pruebas de la caracterización.

N.º Prueba	Tiempo (min)	Frecuencia (Hz)	Temperatura
1	152	28-35	80-120
2	125	11-32	98-160
3	140	25-38	90-165

Sintaxis de las pruebas realizadas en la caracterización de la máquina. (Pérez & Cofre)

Cada etapa dentro del proceso de preparación tiene su importancia y su influencia sobre el resultado final por lo que hay que prestar suma atención a cada una de ellas desde el encendido de la máquina hasta el retirado de la masa del turrón. Visualizar las etapas dentro de un diagrama como el que se muestra en la Figura 2.2, puede ayudar a tener un panorama más claro de la elaboración de la masa del turrón.

Figura 2.2 Diagrama de etapas de la batidora de turrón del Salinerito.



Diagrama de etapas general en el que se indica el proceso de batido de la máquina batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

## 2.2 Etapas del proceso de batido de la máquina batidora de turrón

En primera instancia se enciende la máquina para realizar un precalentamiento de hasta 100°C del bol, después se ajustan los parámetros de velocidad y de temperatura a los que la máquina va a funcionar, seguidamente se colocan los primeros ingredientes y se deja batir hasta conseguir una mezcla homogénea para poder incluir los ingredientes finales. Se deja batir un tiempo aproximado de dos horas hasta que la mezcla tome la contextura deseada controlando que la temperatura y las revoluciones por minuto de la máquina sean las adecuadas para que la mezcla no se riegue y no se queme.

Los parámetros de temperatura al igual que las revoluciones por minuto de la máquina irán disminuyendo paulatinamente según la mezcla vaya tomando volumen y color, en la Figura 2.3 se muestra el diagrama de flujo perteneciente a la batidora de turrón.

Figura 2.3 Diagrama de flujo del proceso de batido de la máquina.

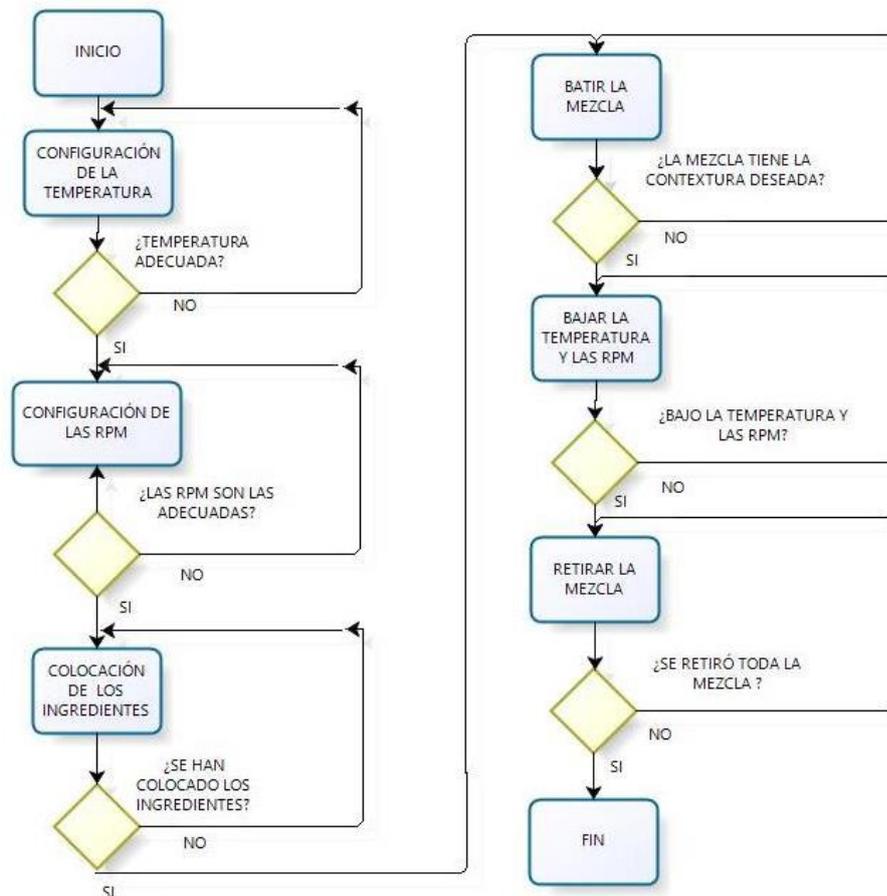


Diagrama de flujo del proceso completo de la máquina. (Pérez & Cofre)

## 2.3 Protocolos de comunicación

### 2.3.1 Protocolo MODBUS

MODBUS es un protocolo de comunicación de línea serial ubicado en la séptima capa del modelo OSI para una interacción cliente y servidor entre dispositivos conectados lo que también se conoce como MODBUS TCP/IP. El estándar también permite el intercambio de peticiones entre un maestro y uno o varios esclavos conectados al bus, también conocido como MODBUS RTU. El funcionamiento no es complicado, el dispositivo asignado como maestro realiza peticiones a los equipos configurados como esclavos y estos últimos únicamente se limitan a proporcionar información o actuar dependiendo de la petición del maestro. Todos los dispositivos en una red MODBUS deben tener una dirección única entre 1 y 247, siendo 247 el número máximo de esclavos permitidos en la red, la dirección cero siempre se reserva para el maestro. (Modbus Application Protocol Specification V1.1b3, págs. 2-4)

#### MODBUS RTU (Unidad Terminal Remota)

Es utilizado para comunicación serie entre dispositivos, maneja una codificación de tipo binario de los datos para la comunicación del protocolo, el método de comprobación de errores es el CRC (comprobación de redundancia cíclica) y generalmente se utilizan los estándares RS232, RS422 o RS485. Cada mensaje MODBUS pertenece a una trama que posee 4 campos importantes que utiliza un formato de 11 bits por byte los mismos que se presentan en la Tabla 2.2. (Modbus Application Protocol Specification V1.1b3, págs. 3-4)

Tabla 2.2 Campos principales de una trama MODBUS.

CAMPO	DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE BITS
Primero	Inicio	1
Segundo	Datos	8
Tercero	Paridad	1
Cuarto	Parada	1

Descripción de los cuatro campos principales de una trama MODBUS. (Modbus Over Serial Line V1.02, pág. 12)

Los datos MODBUS son almacenados en conjuntos de memoria de los dispositivos, para tener acceso a esta información el protocolo maneja un estándar de códigos de función. Para que un maestro pueda solicitar estos datos debe incluir dentro de la trama los códigos de función requeridos, mismos que se pueden apreciar con detalle en la Tabla 2.3. La comunicación MODBUS se basa con un simple paquete llamado PDU tanto para una solicitud como para una respuesta. (Modbus Application Protocol Specification V1.1b3)

Tabla 2.3 Códigos de función del protocolo MODBUS.

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	Leer Bobinas
2	Leer Entradas Discretas
4	Leer Registros de Entradas
5	Escribir a Bobinas Individual
6	Escribir a Registro Individual
7	Leer Estado de Excepción (únicamente serial)

Códigos de función para acceso a los datos MODBUS de un dispositivo. (Modbus Application Protocol Specification V1.1b3, pág. 6)

### **2.3.2 Protocolo Ethernet**

Ethernet es un estándar inicialmente pensado para comunicación en los niveles más altos de la pirámide de automatización, pero con el avance tecnológico ha ido tomando fuerza y utilidad en los niveles bajos. Este protocolo surge principalmente para solucionar el problema de que dos o más host utilicen el mismo medio. Ethernet es un protocolo que ofrece simplicidad, compatibilidad, seguridad pero sobre todo alta velocidad. Utiliza el método de acceso al medio CMA/CD que busca saber si el medio está libre, si hay portadora en el medio significa que está siendo utilizado por otro host, en caso de ocurrir una colisión durante la transmisión las estaciones involucradas suspenden el envío y mandan una señal de congestión. Utiliza TCP/IP para el envío de datos y para su instalación se puede utilizar cable coaxial, fibra óptica o par trenzado, los conectores más comunes utilizados para este protocolo son los RJ-45 con cables UTP cat. 5E. (Guerrero, Yuste, & Martínez, págs. 255-256)

## **2.4 Controlador Lógico Programable (PLC)**

Un controlador lógico programable o PLC es un dispositivo utilizado en la mejora de los equipos o máquinas para la resolución de problema a nivel industrial, principalmente posee un CPU, una memoria, interfaces de comunicación y periféricos de entradas y salidas. Las principales ventajas de los PLC's frente a los tradicionales sistemas de control son: requiere menor espacio, ofrece un monitoreo constante del proceso, son fáciles de instalar y son adaptables a cualquier tipo de proceso. Sus principales campos de aplicación son en sistemas que requieran señalización, control e incluso automatización. (Perez, Acevedo, Silva, & Quiroga)

### **2.4.1 Funcionamiento del PLC**

Los PLC's almacenan en su memoria todos los datos necesarios para la correcta ejecución del programa de usuario como: información del proceso, señales de entradas, señales de salidas, variables internas y la configuración del controlador. Los PLC tienen un funcionamiento secuencial, generando órdenes en respuesta a la lectura de las señales de entrada, cuando el PLC detecta variaciones en sus entradas reacciona según el programa hasta obtener una respuesta en sus salidas que cumpla con las necesidades del usuario, para mantener un control continuo el PLC realiza una secuencia de lectura y respuesta constantemente durante el proceso. (Perez, Acevedo, Silva, & Quiroga)

### **2.4.2 Clasificación del PLC**

Según sus características el PLC se clasifica por: su construcción, por su cantidad de entradas y salidas, por su capacidad y por el tipo de alimentación.

Por su cantidad de entradas y salidas se clasifican en:

- Micro PLC
- PLC pequeño
- PLC grande

Por su arquitectura se clasifican en:

- PLC nano
- PLC compacto
- PLC modular

Por su capacidad de clasifican en:

- PLC de nivel 1
- PLC de nivel 2

Por el tipo de alimentación se clasifican en:

- PLC sobre corriente alterna.
- PLC sobre corriente continua. (Perez, Acevedo, Silva, & Quiroga)

## **2.5 Interfaz Humano Máquina (HMI)**

La interfaz humano máquina o (HMI) es el punto de interacción entre el operador y la máquina, para que una HMI sea útil debe adaptarse a las necesidades del proceso y a las capacidades de quien lo lleve a cargo. Una HMI además de permitir que el operador controle la máquina puede ayudar a supervisar el estado en que se encuentra y le permite intervenir en el proceso, generalmente las HMI llevan indicadores luminosos, gráficas de señales y botones de control. (Nievas, 2010)

### **2.5.1 Funcionamiento de una HMI**

Las señales del proceso se envían hacia la HMI a través de dispositivos controladores ya sean computadoras o PLC's, a su vez la HMI puede enviar datos hacia los controladores utilizando un mismo protocolo de comunicación. (Nievas, 2010)

### **2.5.2 Tipos de HMI**

Dependiendo del dispositivo en el que se programe la HMI se clasifican en dos tipos.

- Panel de operador: Son dispositivos diseñados para ubicarse en lugares de trabajo agresivos por lo general son pantallas táctiles que permiten despliegues numéricos, alfanuméricos y gráficos que vienen con su propio software de programación.
- Software: Son HMI diseñadas bajo algún software de programación e instaladas en una computadora ubicada en un gabinete de control, los beneficios adicionales que ofrece son los de una computadora.

Según el hardware las HMI se clasifican en:

- Push Button Panels: Únicamente usan accionamientos e indicadores luminosos

- Micro Paneles: Pequeños paneles LCD para visualizar datos numéricos o alfanuméricos.
- Panel: Paneles con botones o paneles táctiles que pueden incluir botoneras, utilizados para visualizar datos y gráficas del proceso.
- Multi Panel: Sistemas con varias pantallas que permiten operar y monitorear varios procesos simultáneamente. (Nievas, 2010)

## **2.6 Sensores de temperatura**

Son dispositivos usados para medir los cambios de temperatura, se forman de un elemento sensor, una vaina protectora y cables de extensión para conectar el sensor a otro dispositivo, transforman las variaciones de temperatura en señales eléctricas que se envían a un equipo para que las procese. (Areny, 2003)

### **2.6.1 Tipos de sensores de temperatura**

Se diferencian tres tipos de sensores de temperatura: termistores, sensores RTD y termopares o termocuplas.

- Termistores: Su principio de funcionamiento se basa en la variación de la resistencia de los semiconductores en función de la temperatura.
- Sensores RTD: Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia de un conductor con la variación de la temperatura.
- Termopares: Formado por dos metales, su principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico. (Areny, 2003)

## **2.7 Elementos de la máquina batidora de turrón**

Para cumplir con el trabajo la máquina dispone de un variador de frecuencia de marca LG de la gama SV037IG5-2, que controla las revoluciones por minuto (RPM) de un motor trifásico de 4 polos de marca SIEMENS. Para controlar la temperatura de la máquina se dispone de un pirómetro de marca CAMSCO en el cual se puede visualizar la temperatura referencial y la temperatura medida por una termocupla ubicada en la batidora. La fuente de calor es un caldero que funciona con combustible, el vapor sube por medio de tuberías hasta llegar a la batidora para calentarla a la temperatura deseada. El control de ingreso de vapor se realiza con una electroválvula de 220V

conectada a un relé de estado sólido que se acciona con una de las salidas del pirómetro la cual se activa o desactiva dependiendo de la temperatura referencial y la temperatura medida. La evacuación del vapor condensado en la parte inferior del bol se la realiza con una trampa de vapor que regresa el agua condensada hacia el caldero para reutilizarla. La presión producida por el vapor dentro del bol se controla a través de una válvula de presión que libera el vapor hacia el ambiente al superar la presión permitida.

### 2.7.1 Variador de frecuencia

El variador SV037IG5-2 que se muestra en la Figura 2.4, se alimenta con 220V y está diseñado para controlar motores de 5HP, el control de la frecuencia del variador se encuentra configurado para funcionar con un potenciómetro conectado a los terminales VI, VR y I. Para poder poner en marcha o detener al motor el variador se ha programado para realizarlo a través de un switch conectado a los terminales FX – CM.

Figura 2.4 Variador de frecuencia.



Variador de frecuencia utilizado en la Batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

Las principales configuraciones para el correcto funcionamiento del variador de frecuencia se pueden observar con mayor detalle dentro del Anexo 1.

### 2.7.2 Motor AC trifásico SIEMENS

El motor AC 1LA7 112-4YA60 de cuatro polos a 5HP se acopla al eje de la batidora y es el encargado de generar el movimiento en la máquina, se alimenta con una línea trifásica de 220V y se encuentra conectado a una caja reductora de velocidad como se

puede observar en la Figura 2.5, la caja reductora es utilizada para aumentar el torque de la batidora durante el proceso de mezcla debido a que independientemente de la receta utilizada para la producción, el maní o la macadamia que se colocan en el bol demandan mayor fuerza a bajas velocidades. La velocidad del motor es controlada a través de un variador de frecuencia SV037IG5-2 y su conexión está en el Anexo 2.

Figura 2.5 Motor AC trifásico Siemens con caja reductora.



Motor AC trifásico SIEMENS con caja reductora utilizado para la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 2.4 se detallan los datos técnicos del motor utilizado en la máquina para batir el turrón.

Tabla 2.4 Datos técnicos del Motor Trifásico 1LA7 112-4YA60.

<b>Datos Técnicos del Motor Trifásico 1la7 112 -4ya60</b>	
<b>Alimentación</b>	220 YY / 440Y V
<b>Corriente</b>	15.8 / 7.9 A
<b>Potencia</b>	5HP
<b>Número de polos</b>	4
<b>Potencia</b>	5HP
<b>Factor de potencia</b>	0.75
<b>Frecuencia de entrada</b>	60 HZ
<b>Grado de protección</b>	IP65
<b>Temperatura ambiental</b>	-15 ° C – 40 ° C

Datos técnicos del Motor Trifásico. (Pérez & Cofre)

### 2.7.3 Pirómetro REX-C900 CAMSCO

Un pirómetro de marca CAMSCO de la serie REX-C900 como el de la Figura 2.6 controla la temperatura de la máquina ayudado de una termocupla tipo J ubicada en el interior de del bol donde fluye vapor proveniente de un caldero. Cuenta con dos displays, el de la parte superior el display más visible muestra la temperatura de la termocupla mientras que el display de la parte inferior muestra la temperatura de referencia configurada por el operador.

Figura 2.6 Pirómetro REX-C900 marca CAMSCO.



Pirómetro CAMSCO de la serie REX-C900 utilizado para controlar la temperatura de la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 2.5 se describen los detalles técnicos de funcionamiento del pirómetro CAMSCO utilizado en la batidora para controlar la temperatura de la máquina.

Tabla 2.5 Datos técnicos del pirómetro CAMSCO REX-C900.

<b>Datos técnicos del pirómetro CAMSCO REX-C900</b>	
<b>Alimentación</b>	220 VAC
<b>Frecuencia</b>	50-60 Hz
<b>Rango de medición</b>	0 – 400 ° C
<b>Salidas a Relé</b>	1
<b>Alarmas</b>	2
<b>Tipo de sensores</b>	Termocupla, RTD
<b>Voltaje de entrada</b>	0 – 5 VDC
<b>Corriente de entrada</b>	4 – 20 mA
<b>Temperatura ambiental</b>	0 ° C – 50 ° C

Datos técnicos del pirómetro. (INC, pág. 8)

#### 2.7.4 Electroválvula

Una electroválvula controlada por un relé que se conecta a una de las salidas del pirómetro controla el ingreso del vapor a la batidora en respuesta de la temperatura configurada en el pirómetro y del valor de temperatura que detecte la termocupla que se encuentra instalada en la máquina. En la Figura 2.7 se muestra la electroválvula que controla el paso del vapor.

Figura 2.7 Electroválvula de la batidora de turrón.



Electrovalvula utilizada para controlar el ingreso de vapor en el bol de la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

#### 2.7.5 Trampa de vapor

Una vez que el vapor a ingresado a la máquina este se condensa en la parte inferior de la misma afectando la temperatura del bol por lo que es sumamente importante evacuar esta condensación, una trampa de vapor marca NICHOLSON como la de la Figura 2.8 se utiliza para regresar el vapor condensado en el bol hacia el caldero a través de tuberías de hierro para reutilizarlo y mantener la temperatura uniforme en la máquina.

Figura 2.8 Trampa de vapor NICHOLSON de la batidora de turrón.



Trampa de vapor de la batidora para evacuar el vapor condensado. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 2.6 se muestran detalladamente los datos técnicos de la trampa de vapor de la batidora de turrón.

Tabla 2.6 Datos técnicos de la trampa de vapor NICHOLSON FTN

<b>Trampa de vapor NICHOLSON FTN</b>	
<b>Presión</b>	250psi
<b>Temperatura</b>	232°C
<b>Conexión</b>	Tipo rosca
<b>Diámetro</b>	½ pulgada

Datos técnicos de la trampa de vapor de la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

Para evacuar el vapor condensado de manera inmediata el bol posee una válvula manual en su parte inferior misma que también se utiliza para liberar la presión en caso de emergencia.

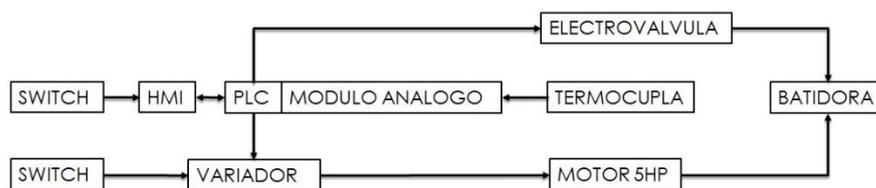
## CAPÍTULO 3

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

#### 3.1 Visión General

El sistema de control propuesto para la batidora de turrón tiene como finalidad facilitar el manejo de la máquina por parte de los operarios, así como permitir un correcto control y visualización de los parámetros que se requieren para la elaboración del turrón. Por ello dentro del diseño se considera un PLC, un módulo de entradas analógicas, un variador de frecuencia, una HMI y demás elementos de control y protección necesarios para la instalación de los equipos como se ve en la Figura 3.1.

Figura 3.1 Arquitectura del nuevo sistema.



Arquitectura del sistema de control propuesto. (Pérez & Cofre)

Se ha seleccionado el PLC PM554-ETH frente a otras opciones por su disponibilidad en el mercado, por ser un equipo muy versátil, contar con las entradas y salidas necesarias además con la memoria suficiente para una programación correcta. En caso de ser necesario ofrece la facilidad para conectar un módulo para una tarjeta de memoria externa, su conexión es muy sencilla así como rápida.

Para medir la temperatura se requiere lecturas análogas debido al tipo de sensor de la batidora por lo que se ha optado por el módulo de entradas análogas AI563 de la marca ABB para que se pueda conectar al PLC sin ningún inconveniente. Este módulo tiene la peculiaridad que permite la conexión directa de sensores de temperatura.

En la HMI se podrán observar y configurar los parámetros de funcionamiento de la máquina. Se ha optado por la pantalla CP630-WEB, de igual manera de la marca ABB ya que cumple con las protecciones necesarias para soportar el ambiente en el que será instalada. La comunicación con el PLC es totalmente abierta sin la necesidad de

complementos de software adicionales y su disponibilidad en el mercado ayuda a evitar costos de importación.

Para el control del motor dentro del diseño se ha optado por un variador de frecuencia SV037IG5-2 de la marca LG, mismo que será controlado por el PLC. Todos los equipos se ubicarán en un tablero de control junto con los equipos de protección necesarios, así como con los mandos de emergencia para detener la máquina si fuera necesario. Todo esto cumpliendo con las normas de seguridad de la empresa. En la Figura 3.2 se muestra un diagrama de flujo del diseño propuesto.

Figura 3.2 Diagrama de flujo del diseño propuesto.

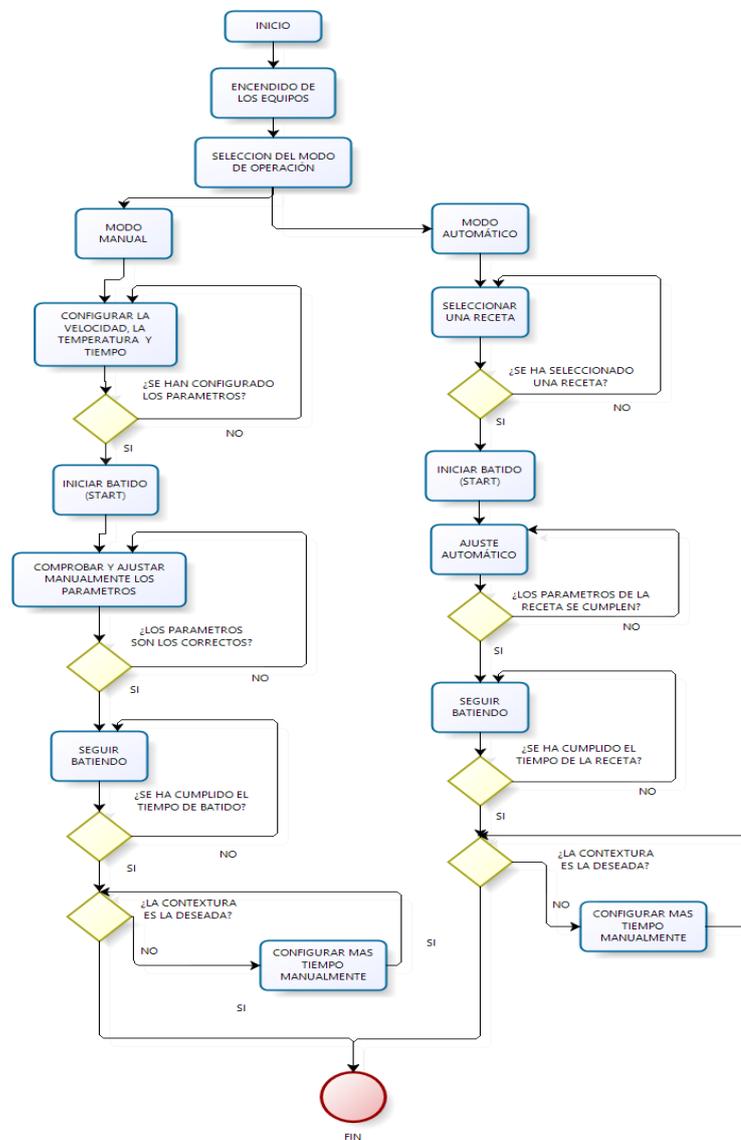


Diagrama de flujo del diseño propuesto para la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

## 3.2 Sistema de control

El sistema de control que se va a implementar consta de dos partes fundamentales que son: Hardware y Software que se detallan a continuación.

### 3.2.1 Hardware

El Hardware del nuevo sistema de control para la batidora de turrón se ha diseñado con los siguientes equipos:

- PLC PM554-ETH
- Módulo análogo AI563
- Pantalla touch CP630-web
- Variador de frecuencia SV037IG5-2
- Tablero de control

#### PLC PM554-ETH

El PLC PM554-ETH que se muestra en la Figura 3.3 es el equipo encargado de la ejecución del programa, así como de la interacción con los demás equipos. Posee un puerto serial RS-485 el cual será destinado a la comunicación MODBUS RTU con el variador de frecuencia mientras que su puerto ethernet tendrá como finalidad la comunicación del PLC con la pantalla CP630-WEB para la ejecución de la interfaz, se conectará al módulo análogo a través de un slot que posee en su lado derecho. Dentro del diseño se han considerado un mínimo de entradas y salidas digitales de reserva en caso de que a futuro el proceso requiera manejar otro tipo de señales, así como controlar otros actuadores. (ABB, Guía rápida de introducción PLC eCo, 2014)

Figura 3.3 PLC PM554-ETH.



PLC PM554-ETH utilizado para el control de la máquina batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 3.1 se muestran detalladamente las características técnicas del PLC AC500eCo PM554-TP-ETH.

Tabla 3.1 Datos técnicos del PLC AC500eCO.

Datos técnicos del PLC AC500eCO PM554-TP-ETH	
<b>Alimentación</b>	24VDC
<b>Entradas digitales</b>	8DI
<b>Salidas digitales</b>	6DO a Transistor
<b>E/S analógicas</b>	Ninguna
<b>Memoria de datos de usuario</b>	10K
<b>Programa de usuario</b>	128KB
<b>Interfaces de comunicación</b>	Serial/Ethernet
<b>Temperatura de operación</b>	0...+60 ° C
<b>Voltaje de Salida</b>	24V
<b>Corriente de Salida</b>	0.5A
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Protocolos de comunicación</b>	MODBUS RTU, MODBUS TCP, ASCII,

Datos técnicos del PLC PM554-TP-RTH. (ABB, pág. 12)

Para configurar el PLC como maestro MODBUS se debe configurar en AUTOMATION BUILDER el puerto serial con dicha funcionalidad únicamente haciendo clic derecho sobre el puerto, añadir dispositivo y escogiendo la opción MODBUS como se muestra en la Figura 3.4. Si la configuración se ha realizado correctamente el ícono y el nombre del puerto cambiarán automáticamente indicando su nueva funcionalidad.

Figura 3.4 Configuración del puerto serial.

Name	Short Description	Version
 COM1 - ASCII		2.5.0.0
 COM1 - CS31-Bus		2.5.0.0
 <b>COM1 - Modbus</b>		2.5.0.0
 COM1 - Multi		2.5.0.0
 COM1 - SysLibCom		2.5.0.0

Configuración del COM 1 para que el PLC funcione como maestro MODBUS.  
(GmbH, 2003)

Terminada la configuración del puerto se deben configurar todos los parámetros del protocolo para una correcta comunicación tales como velocidad de transmisión, bits de datos, paridad, bits de parada, etc. Únicamente hay que hacer doble clic sobre el puerto configurado y se abrirá la pantalla de la Figura 3.5. En donde se muestran todos los parámetros del protocolo que se pueden configurar.

Puesto que el PLC va a ser el maestro debe ser configurado con la dirección inicial cero con el modo de operación como cliente, para que no haya error en la comunicación la velocidad de transmisión tiene que ser la misma que ha de utilizar el esclavo por lo general 9600 baudios, la paridad debe configurarse según las especificaciones del esclavo y los bits de parada se deben configurar como lo indique el manual del fabricante correspondiente al esclavo, manteniendo una estrecha relación con los bits de paridad.

Figura 3.5 Configuración de los parámetros MODBUS.

Parameter	Type	Value
Enable login	Enumeration of BYTE	Disabled
RTS control	Enumeration of BYTE	Telegram
Telegram ending value	WORD(0..65535)	3
Baudrate	Enumeration of DWORD	9600
Parity	Enumeration of BYTE	None
Data Bits	Enumeration of BYTE	8
Stop Bits	Enumeration of BYTE	2
Run on config fault	Enumeration of BYTE	No
Operation mode	Enumeration of BYTE	Client
Address	BYTE(0..255)	0

Configuración de los parámetros del COM 1 para el protocolo de comunicación MODBUS RTU. (Pérez & Cofre)

### Módulo análogo AI563

El módulo AI563 de la Figura 3.6 es un módulo de entradas analógicas diseñado para mediciones de temperatura, los sensores como termocuplas y RTD se conectan directamente a las entradas del módulo sin necesidad de un circuito acondicionador de señal, el módulo se conecta directamente al PLC a través de un slot ubicado en su lado izquierdo y será el encargado de enviar la señal correspondiente de la temperatura de la máquina al PLC para comprobar que la temperatura sea la correcta.

Figura 3.6 Módulo análogo AI563.



Módulo análogo AI563 utilizado para recibir las señales análogas de los sensores de temperatura de la máquina. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 3.2 se describen las características de funcionamiento del módulo AI563.

Tabla 3.2 Datos técnicos del módulo análogo AI563.

<b>DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO DE ENTRADAS ANÁLOGAS AI563</b>	
<b>Alimentación</b>	24(18...30) VDC
<b>Entradas analógicas</b>	4AI
<b>Salidas análogas</b>	No
<b>Corriente de consumo</b>	0.100A
<b>Tipo de termocupla</b>	J, K, T, N, S, E, R
<b>Voltaje de entrada</b>	-80...+80 mV
<b>Grado de protección</b>	IP20

Datos técnicos del módulo análogo. (ABB, pág. 12)

Después de conectar el módulo al PLC, para que sea reconocido sin ningún tipo de error debe ser configurado en AUTOMATION BUILDER para lo cual se debe hacer clic derecho sobre IO\_BUS ubicado en el árbol del proyecto, añadir objeto y seleccionar el módulo en cuestión. Para configurarlo se debe hacer doble clic sobre el módulo seguidamente aparecerá la ventana de la Figura 3.7. En donde se pueden activar y configurar las entradas que vayan a ser utilizadas, así como también se puede seleccionar el tipo de sensor a utilizar, una termocupla tipo J en el caso de la batidora de turrón. Únicamente se deben configurar las entradas que vayan a ser utilizadas

debido a que si se configura una entrada y el módulo no reconoce un sensor en dicha entrada lo detectará como un falló en el sensor y encenderá la luz de error.

Figura 3.7 Configuración del módulo análogo AI563.

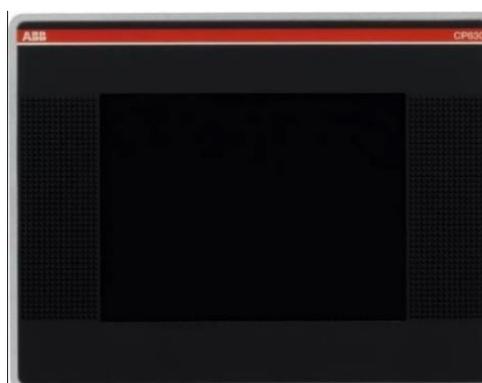
Parameter	Type	Value
Ignore module	Enumeration of BYTE	No
Check supply	Enumeration of BYTE	On
Input 0, channel configuration	Enumeration of BYTE	Thermocouple J -210...+1200 °C
Input 1, channel configuration	Enumeration of BYTE	Not used
Input 2, channel configuration	Enumeration of BYTE	Not used
Input 3, channel configuration	Enumeration of BYTE	Not used

Configuración de las entradas del módulo análogo AI563 utilizado para el control de temperatura de la batidora. (Pérez & Cofre)

### **Pantalla touch CP630-WEB**

En la Figura 3.8 se muestra el panel de operador, en él se programará la interfaz hombre máquina (HMI) de la batidora de turrón, el operador podrá configurar los parámetros de velocidad y temperatura de la máquina con solo tocar la pantalla. Se conectará con el PLC a través de uno de sus puertos ethernet y los puertos USB se utilizarán para conectar un teclado o un ratón para facilitar la configuración del panel, puesto que el PLC se ha de configurar como un servidor web para que exista una correcta comunicación el panel se debe configurar tomando en cuenta las configuraciones del PLC. (ABB, Control Panels CP630 with MicroBrowser, 2013)

Figura 3.8 Pantalla CP630-WEB.



Panel utilizado para la ejecución de la HMI de la batidora de turrón. (ABB, pág. 3)

Las características técnicas del panel CP6330-WEB se detallan dentro de la Tabla 3.3.

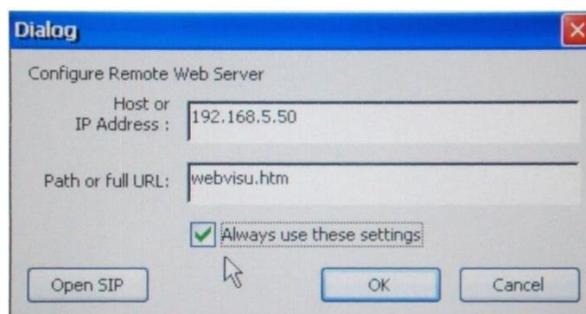
Tabla 3.3 Datos técnicos del panel de control CP630-WEB.

<b>Datos técnicos del Panel de control CP630-WEB</b>	
<b>Alimentación</b>	24(18...30) VDC
<b>Resolución</b>	320x240 pixel
<b>Micro browser</b>	Si
<b>Tipo de pantalla</b>	Táctil resistiva
<b>Memoria de datos de usuario</b>	128MB
<b>Memoria de Programa de usuario</b>	256MB
<b>Temperatura de operación</b>	0...+50 ° C
<b>Consumo de potencia</b>	16.8W
<b>Grado de protección</b>	Frente – IP66 Posterior - IP20
<b>Interfaces de comunicación</b>	2x Ethernet 1x RS232,422,485 2x USB 2.0

Datos técnicos del panel de control. (ABB, págs. 6-9)

Para que la CP630-WEB se pueda comunicar con el PLC, este último debe configurarse como un web server y el panel debe apuntar a su dirección, para ello se debe acceder a las configuraciones de la pantalla y colocar la dirección IP del PLC como la dirección del servidor web remoto como se muestra en la Figura 3.9, seguidamente se puede configurar la dirección IP de la pantalla.

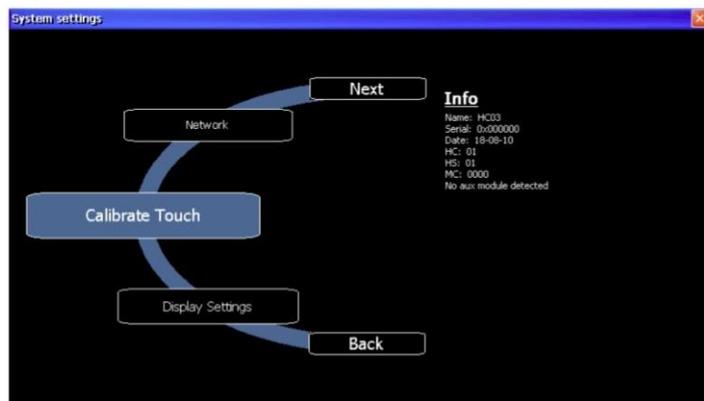
Figura 3.9 Configuración del servidor web remoto.



Configuración del PLC como servidor web remoto en la CP360-WEB. (ABB, pág. 1)

Para que la pantalla pueda ejecutar automáticamente el programa de usuario después que se ha encendido se debe habilitar la opción Autostart ubicada dentro de la carpeta My Device/Flash/Microbrowser mientras que para ocultar las barras de tareas y los menús durante la ejecución de la HMI se debe configurar el modo Kiosk ubicado en la misma carpeta. Es sumamente importante calibrar el panel touch antes de ejecutar cualquier programa en la pantalla, para esto se puede acceder a configuraciones de sistema como se muestra en la Figura 3.10 y seguir las indicaciones.

Figura 3.10 Configuración del panel touch.



Configuración del panel touch de la CP360-web. (ABB, pág. 2)

### Variador de frecuencia SV037IG5-2

El variador de frecuencia de la Figura 3.11 será conectado al PLC para que este sea quien controle a la máquina a través del protocolo de comunicación MODBUS RTU.

Figura 3.11 Variador de frecuencia SV037IG5-2.



Variador de frecuencia LS SV037IG5-2 utilizado para el control de velocidad de la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

Los Datos técnicos del variador LS SV037IG5-2 se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Datos técnicos del variador SV037IG5-2

<b>Datos técnicos del Variador de frecuencia SV037IG5-2</b>	
<b>Alimentación</b>	200 – 230 VAC (+/- 10%) trifásico
<b>Voltaje de salida</b>	200 – 230 VAC trifásico
<b>Frecuencia de entrada</b>	50-60 Hz (+/- 5%)
<b>Frecuencia de salida</b>	0.1 – 400 Hz
<b>Potencia</b>	5HP
<b>Método de refrigeración</b>	Forzada
<b>Protocolo de comunicación</b>	MODBUS RTU, ASCII
<b>Humedad ambiental</b>	5-85% no condensada
<b>Temperatura ambiental</b>	-10 ° C – 40 ° C

Datos técnicos del variador de frecuencia. (LG, págs. 3-4)

Para que el variador se pueda comunicar con el PLC a través del protocolo MODBUS se deben configurar los parámetros de comunicación de la Tabla 3.5, una vez configurados estos parámetros el variador recibirá solicitudes únicamente del PLC inhabilitando cualquier mando adicional que este pudiera tener.

En la Tabla 3.5 se detallan los parámetros y el valor a configurar para que el variador pueda comunicarse a través del protocolo MODBUS.

Tabla 3.5 Configuración del variador de frecuencia.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
DRV-03	3	Modo de operación
DRV-04	5	Control de frecuencia
I/O-46	1	Número del esclavo
I/O-47	9600 bps	Velocidad de transmisión
I/O-48	0	Perdida de comunicación
I/O-49	10	Tiempo de espera (Time-Out)
I/O-50	7	Protocolo de comunicación

Configuración del variador para la comunicación. (LG, pág. 80)

Configurado el variador de frecuencia lo único que resta para iniciar la comunicación es conectar el cable desde el puerto serial del PLC a los terminales S+ y S- del variador ubicados en el lado superior de la bornera del variador tomando en cuenta que al ser el único esclavo en la red este debe llevar una resistencia terminadora, en la Figura 3.12 se muestra la bornera del variador y la ubicación de los terminales antes mencionados para la comunicación.

Figura 3.12 Terminales del variador de frecuencia.



Ubicación de los terminales S+ y S- para comunicación MODBUS. (Pérez & Cofre)

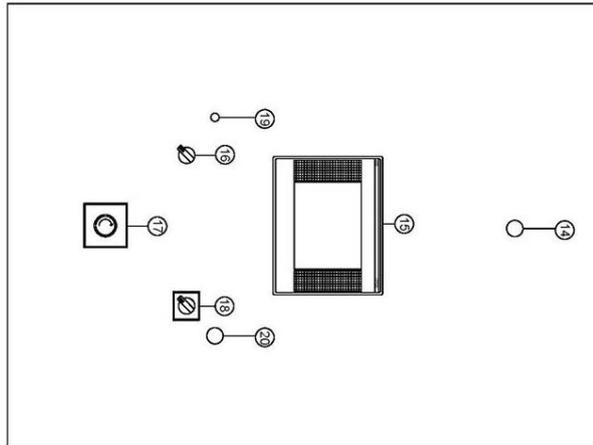
### **Tablero de control**

Para el diseño del tablero se han tomado en cuenta las condiciones a las que será expuesto por lo cual debe tener un grado de protección IP66 para cumplir con las seguridades necesarias y no comprometer el buen funcionamiento de los equipos tanto de protección, control y potencia mismos que se ubicarán en su interior de manera organizada, las conexiones se realizarán por medio de canaletas con cables marcados.

En la parte frontal de la tapa se colocarán todos los equipos de control manual, dispositivos indicadores y la pantalla HMI para que el operador pueda acceder y controlar la máquina sin ningún inconveniente. En la Figura 3.13 se muestra el diseño de la parte frontal de tablero de control mientras que en el Anexo 3 se detalla el diseño con la ubicación de todos los equipos que van en el interior del tablero.

Dentro del diseño también se ha tomado muy en cuenta el material del tablero, se ha optado por acero inoxidable para que soporte el peso de los equipos y para mantener la asepsia al estar involucrado con alimentos.

Figura 3.13 Diseño de la parte frontal del tablero.



Diseño de la parte frontal del tablero de control para la batidora. (Pérez & Cofre)

### 3.2.2 Software

El software utilizado es AUTOMATION BUILDER versión básica propio de la marca ABB y diseñado para la configuración y programación de equipos de ingeniería para automatización, integra todas las herramientas necesarias para configurar y depurar el proyecto, en un nuevo proyecto se añadirán los equipos como el PLC y el módulo análogo para su configuración. Una de las herramientas que AUTOMATION BUILDER proporciona es CODESYS y es donde se realiza propiamente el programa de control para el PLC.

#### Entorno de programación CODESYS

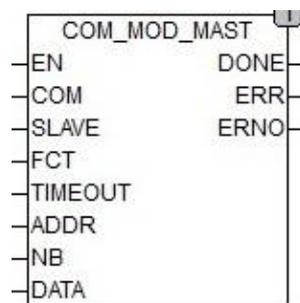
CODESYS es un entorno de programación diseñado para controladores lógicos programables (PLC's) soporta 6 distintos lenguajes de programación entre los más importantes están: ladder, bloques de funciones y programación por líneas de texto.

Ofrece la opción de priorizar las tareas en el programa, permite al usuario crear sus propios bloques de funciones para utilizarlos en el programa principal, permite desarrollar visualizaciones para la programación de HMI's, también cuenta con una carpeta de librerías para comunicación de las que se utilizará la librería para comunicación MODBUS para el control del variador de frecuencia, también ofrece un entorno de simulación del programa de usuario para comprobar su comportamiento e ir depurando su funcionamiento.

## COM\_MOD\_MAST

CODESYS ofrece una librería llamada COM\_MOD\_MAST que es para crear un dispositivo MODBUS, dependiendo del rol que vaya a cumplir el equipo se lo puede configurar como maestro o esclavo recordando siempre que el maestro debe llevar la dirección inicial (cero), la librería permite configurar todos los parámetros que MODBUS requiere para una correcta comunicación en la Figura 3.14 se muestra el bloque de función perteneciente a la librería COM\_MOD\_MAST.

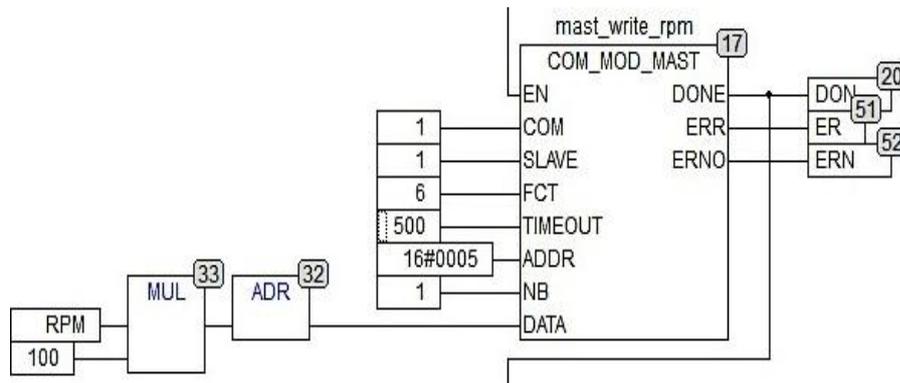
Figura 3.14 Librería COM\_MOD\_MAST.



Librería COM\_MOD\_MAST utilizada para la comunicación MODBUS entre PLC y el variador de frecuencia. (GmbH, 2003)

Para iniciar la comunicación se debe habilitar el bloque de función COM\_MOD\_MAST con una señal intermitente después de haber configurado los demás parámetros del bloque, de los dos puertos seriales que posee el PLC AC500eCo PM554-ETH se utilizará el COM 1 para conectarlo con el variador de frecuencia, el variador se asignará como esclavo con la dirección 1, para poder acceder a la información del esclavo o solicitar una acción se utilizará los códigos de función para escritura y lectura MODBUS, hay que tener en cuenta que las direcciones de memoria del esclavo a las que se desea acceder sean convenientes para la acción a solicitar y poder configurar el bloque correctamente, el número de bits a enviar es un parámetro que la librería solicita para poder gestionar correctamente el envío de datos así como la comprobación de posibles errores que pudieran ocurrir, en la Figura 3.15 se muestra la configuración del bloque de función COM\_MOD\_MAST para escritura de parámetros del esclavo, los pines de salida del bloque de función son únicamente de carácter informativo, notifican cuando el envío de datos ha finalizado o en el caso que haya ocurrido un error durante la transmisión.

Figura 3.15 Configuración de la librería COM\_MOD\_MAST.

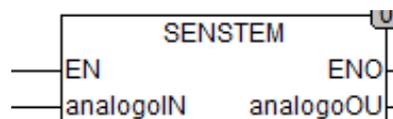


Configuración de la librería COM\_MOD\_MAST para la escritura de parámetros en el variador. (Pérez & Cofre)

### Bloque de función de la temperatura

El módulo análogo recibe un nivel de voltaje del sensor de temperatura en el orden de los milivoltios que lo interpreta como un valor numérico, pero para poder visualizar la temperatura leída por el sensor se debe realizar un escalamiento, para lo que se ha creado un bloque de función dentro del cual se harán los cálculos necesarios para tener a su salida una medida de temperatura acondicionada a las necesidades del sistema, en la Figura 3.16 se puede observar el bloque de función para el acondicionamiento de la del valor de la temperatura, los pines de la izquierda son de entrada y los pines de la derecha son pines de salida.

Figura 3.16 Bloque de función de la temperatura.



Bloque de función utilizado para el correcto escalamiento de la temperatura medida por la termocoupla del bol. (Pérez & Cofre)

Para obtener la ecuación del sistema de temperatura y entender su comportamiento se tomaron varias muestras con un sensor maestro en comparación a la resolución del módulo análogo AI563 el resultando se encuentra en la Tabla 3.6.

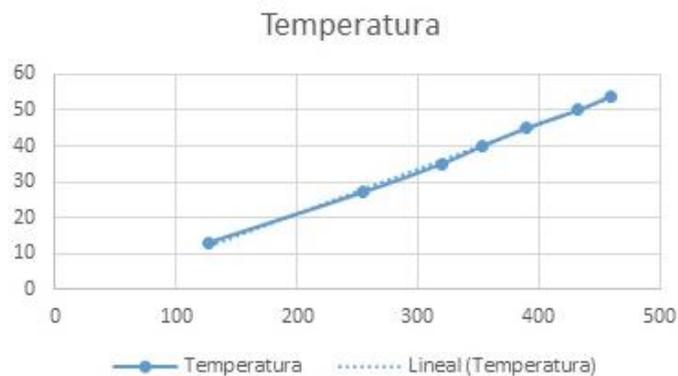
Tabla 3.6 Calibración del sensor de temperatura

Valor Análogo PLC	Sensor maestro
127,5	13
254	27
319,5	35
353,5	40
390	45
432,5	50
460	54

Datos para la calibración del sensor de temperatura. (Pérez & Cofre)

Con los valores de la Tabla 3.6 se obtuvo la curva característica de la temperatura del sistema que se muestra en la Figura 3.17.

Figura 3.17 Curva de la temperatura.



Curva característica del sistema de temperatura. (Pérez & Cofre)

De la Figura 3.17 se obtuvo como resultado la ecuación (Ec. 3.1) que se utilizará dentro de la programación para la visualización de la temperatura del bol en la HMI.

$$y = 0,1248x + 3,6827 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Por petición de la empresa no se pudo colocar un sensor de temperatura en el interior del bol para saber con exactitud la temperatura de la masa, por tal motivo para saber a qué temperatura podría estar se tomaron varias muestras de la temperatura durante el proceso de preparación del turrón, mismas que se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Muestras de temperatura.

Temp. masa	Temp. bol	Tiempo(min)	Porcentaje BOL-Masa
74	90	11	82,25
74	90	16	82,25
69	90	21	76,7
69	90	26	76,7
69	90	31	76,7
66	90	36	73,35
64	90	41	71,12
60	90	46	66,7
57	90	51	63,34
55	90	56	55,08
55	90	61	55,08
60	100	66	60
65	100	71	65
65	100	76	65
70	100	81	70
77	100	86	77
78	100	91	78

Temperatura de la masa con relación a la temperatura interna del bol. (Pérez & Cofre)

Para poder determinar la temperatura de la masa se obtuvo el porcentaje de transferencia de la temperatura que ingresa al bol con respecto al tiempo de batido puesto que el tiempo es la única constante dentro del proceso.

### Visualización

CODESYS permite programar las HMI en un mismo proyecto, dentro de una carpeta llamada visualizaciones posee todos los recursos necesarios para el desarrollo de la interfaz HMI aquí se programará la interfaz gráfica del panel de operador para el control de la batidora de turrón, se podrán visualizar y configurar los parámetros de control de la máquina, en la Figura 3.18 se muestra el menú del proyecto en donde se puede acceder a la carpeta de visualización para crear la interfaz gráfica.

Figura 3.18 Estructura del proyecto.



Estructura del proyecto en CODESYS en donde se puede acceder para crea las visualizaciones. (GmbH, 2003)

Para crear una visualización únicamente hay que dar clic derecho sobre la carpeta VISUALIZATIONS y agregar una nueva visualización, una vez creada la visualización se presentará el espacio de trabajo y se habilitarán los objetos para crear la interfaz, por recomendación del fabricante el nombre de las visualizaciones no debe superar los 8 caracteres. Para la HMI de la batidora se han de utilizar elementos de visualización de texto, elementos de entrada de texto tipo numérico, botones y elementos gráficos de medida para representar los parámetros de configuración.

Parte del diseño de la HMI de la batidora permite configurar los parámetros de funcionamiento de manera manual y de manera automática con parámetros previamente establecidos por el operador, únicamente en la pantalla de inicio hay que seleccionar una de las opciones y automáticamente se presentará otro menú dependiendo de la opción escogida, en la Figura 3.19 se muestra la pantalla de inicio de la HMI.

Figura 3.19 Pantalla de inicio de la HMI.



Pantalla inicial de la HMI para controlar la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

Si se escoge la opción manual seguidamente se desplegará la pantalla de control principal en donde se puede visualizar los parámetros de operación en curso y con los botones de mando ubicados en el inferior de la pantalla se puede poner en funcionamiento o detener la máquina, la opción del botón de pausa detendrá momentáneamente a la máquina sin reiniciar el tiempo de batido transcurrido. Los botones de VELOCIDAD y TEMPERATURA despliegan pantallas secundarias en las que el operador puede configurar los parámetros de funcionamiento de la máquina que inicialmente se encontrarán con un valor de cero, el TIEMPO no posee una pantalla de configuración como los otros dos parámetros pero se lo puede configurar en la pantalla de control, en la Figura 3.20 se muestra la pantalla de control principal.

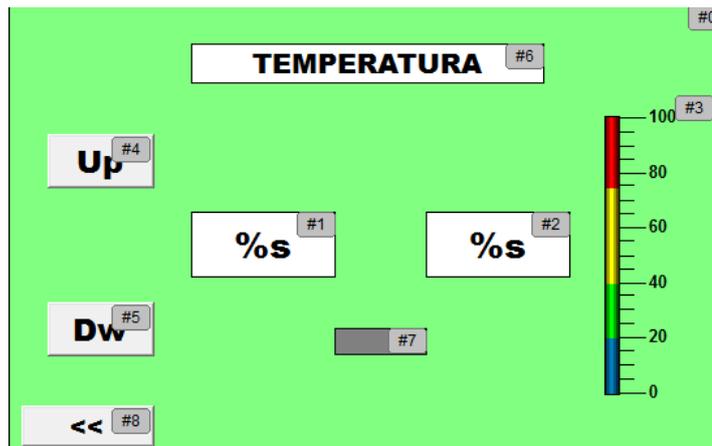
Figura 3.20 Panel de control de la HMI.



Panel de control principal de HMI para controlar la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

Presionando el botón TEMPERATURA del panel principal se desplegará la pantalla de la Figura 3.21 en la que se puede configurar la temperatura de funcionamiento de la máquina, en la parte central de la pantalla se encuentran dos recuadros, el cuadro del lado izquierdo permite configurar la temperatura ingresando el valor a través de un teclado que ofrece la interfaz mientras que el recuadro del lado derecho muestra el valor de la temperatura leído por la termocupla ubicada en la batidora, al lado derecho de la pantalla se localiza un termómetro que muestra de forma gráfica y con colores los niveles de la temperatura de la máquina, los botones de incremento y decremento permitirán configurar la temperatura de manera rápida sin la necesidad de ingresar el dato por medio del teclado.

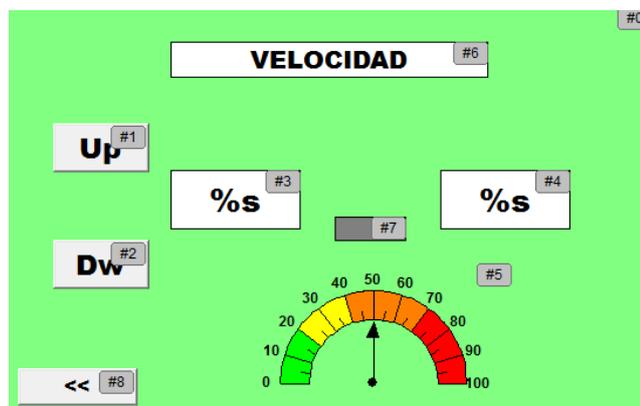
Figura 3.21 Pantalla de configuración de la temperatura.



Interfaz de configuración de la temperatura de la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

Para configurar la velocidad se debe presionar el botón VELOCIDAD ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla principal de control, seguidamente aparecerá una pantalla secundaria misma que se muestra en la Figura 3.22 en la que se podrá configurar la velocidad de funcionamiento de la máquina presionando el recuadro del lado izquierdo de la pantalla, en la parte inferior se ha colocado un acelerómetro que permite observar gráficamente la velocidad de funcionamiento. Las flechas ubicadas en la parte inferior derecha de todas las pantallas permitirán regresar al menú anterior, después de configurar todos los parámetros el programa espera la orden de los botones de control para iniciar el proceso.

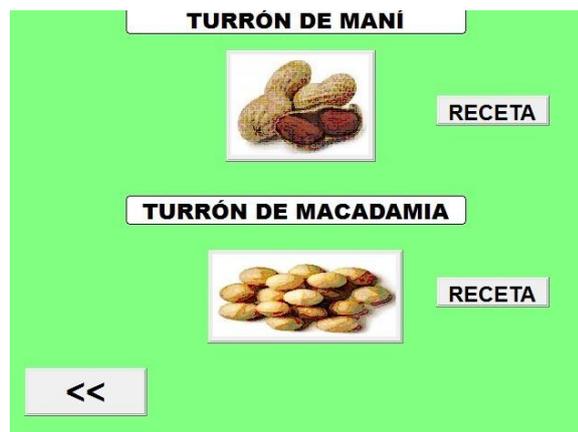
Figura 3.22 Pantalla de configuración de la velocidad.



Interfaz para configurar la velocidad de funcionamiento de la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

Si en la pantalla de inicio se escoge la opción de control automático aparecerá la pantalla de la Figura 3.23 en donde se muestran las dos recetas pre configuradas por el operador, nombradas y señalizada por su ingrediente principal. Al presionar el botón con la figura de la receta requerida se cargarán los parámetros de funcionamiento de velocidad, temperatura y tiempo en la pantalla principal de control, quedando únicamente presionar el botón start para iniciar el proceso de batido

Figura 3.23 Pantalla de control automático.



Interfaz para control automático de la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

El botón receta ubicado al lado derecho del botón principal permite configurar las recetas a conveniencia del operador pudiendo así probar varias opciones hasta conseguir una receta que se ajuste a los requerimientos de cada cliente. En la Figura 3.24 se muestra la interfaz para configurar la receta.

Figura 3.24 Configuración de la receta del turrón.



Interfaz para la configuración de la receta del turrón. (Pérez & Cofre)

### 3.3 Implementación

#### 3.3.1 Implementación del tablero de control

El tablero de control ha sido construido acorde a las especificaciones del Anexo 3, en su interior se ha colocado el doble fondo o plafón en el cual se han ubicado canaletas y rieles DIN como se muestra en la Figura 3.25.

Figura 3.25 Implementación del plafón.



Preparación e instalación del doble fondo o plafón del tablero de control para la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

El tablero se instaló en un lugar apropiado para que el operador pueda acceder sin comprometer su seguridad y tampoco el trabajo de la máquina, se sujetó a la pared con pernos asegurando su estabilidad como se muestra en la Figura 3.26.

Figura 3.26 Colocación del tablero de control.



Colocación del tablero de control para la batidora de turrón. (Pérez & Cofre)

### 3.3.2 Implementación de los equipos en el tablero

Siguiendo las especificaciones del Anexo 3 en la parte superior del plafón se colocaron breakers de protección para la parte de control y para la parte de potencia. En una sección destinada únicamente para los equipos de control se colocó la fuente de 24VDC, el PLC AC500eCo PM554-ETH y el módulo AI563, respetando las indicaciones del fabricante se colocó al variador SV037IG5-2 en la parte superior derecha del plafón y en la parte inferior se colocó un relé de estado sólido y una barra de tierra como se muestra en la Figura 3.27. Para estabilizar los equipos se colocaron topes para riel DIN.

Figura 3.27 Montaje de los equipos.



Instalación de los equipos dentro del tablero de control. (Pérez & Cofre)

En la tapa frontal del tablero de control se colocaron la pantalla de la HMI para el control de la batidora, un switch selector de dos posiciones para el encendido del sistema de control, un interruptor ON/OFF trifásico para el encendido del sistema de potencia y luces piloto como se muestran dentro de la Figura 3.28 según las especificaciones del Anexo 3 para los equipos de la parte frontal del tablero. La luz piloto ubicada en la parte superior de la tapa cumple la función de alarma, indicará al operador cuando el proceso de batido haya terminado.

Figura 3.28 Instalación de los equipos en la parte frontal del tablero.



Montaje de los equipos de operación. (Pérez & Cofre)

### 3.3.3 Implementación de los equipos y sensores de campo

Los equipos de campo constan de una electroválvula ubicada junto al bol para controlar el ingreso de vapor y una termocupla tipo J ubicada en su interior, el cableado de ambos dispositivos se la realizó a través de canaletas separando las señales de potencia de las señales de instrumentación como se muestra en la Figura 3.29.

Figura 3.29 Instalación de canaleta del sensor de temperatura.



Aislamiento de las señales de potencia de instrumentación. (Pérez & Cofre)

### 3.3.4 Cableado eléctrico

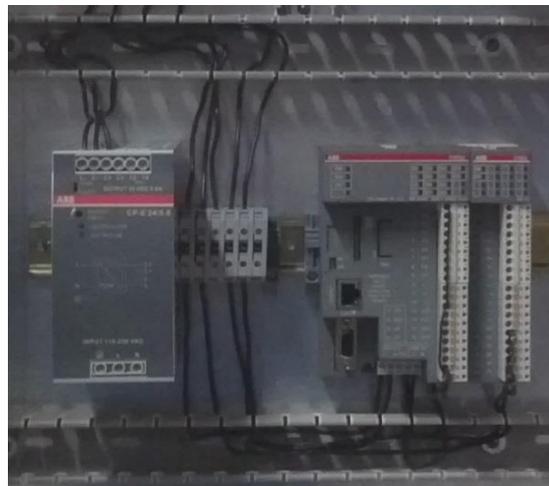
Ubicados los equipos en el tablero se procedió a realizar el cableado eléctrico separado en dos etapas:

- Sistema de control
- Sistema de Potencia

#### Cableado del sistema de control

La fuente CP-E 24/5.0 de 24 VDC alimentará al PLC PM554-ETH, al módulo AI563 y al panel CP630-WEB a través de los pines de voltaje de salida, para habilitar las entradas y salidas digitales del PLC se debe realizar una conexión adicional, todas las conexiones de alimentación de los equipos se fundamentan en el plano de alimentación del Anexo 4. Con estas conexiones el PLC, el módulo análogo y el panel CP630-WEB estarán listos para encenderse sin ningún problema, en la Figura 3.30 se muestran las conexiones dentro del tablero de control.

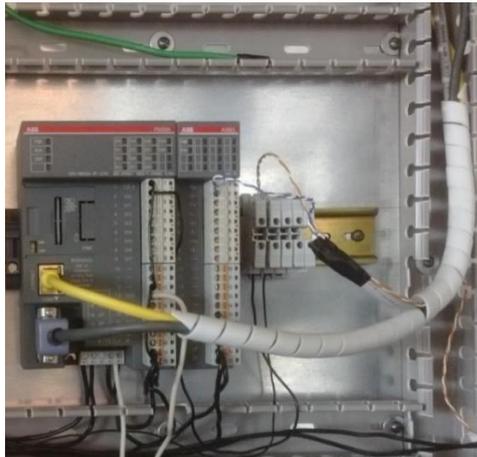
Figura 3.30 Cableado del sistema de control.



Cableado de alimentación de los equipos del sistema de control. (Pérez & Cofre)

Después de haber finalizado el cableado de alimentación del sistema de control se procedió a realizar el cableado de comunicación para el panel de operador y para el variador de frecuencia siguiendo las indicaciones del plano de comunicación detallado en el Anexo 5. El cable utilizado fue UTP CAT 5E y el cableado se lo realizó sobre una canaleta destinada únicamente para cables de comunicación, el resultado se muestra con mayor detalle en la Figura 3.31.

Figura 3.31 Cableado del sistema de comunicación.



Cableado del sistema de comunicación para el panel de operador y para el variador de frecuencia. (Pérez & Cofre)

Finalizado el cableado de comunicación se realizó la conexión de los periféricos de entradas y salidas según las instrucciones del Anexo 6, los dispositivos de entrada y de salida se conectaron a través de borneras y estas a su vez se conectaron al slot respectivo del PLC, el cableado se lo realizó a través de canaletas como se puede observar con mayor detalle en la Figura 3.32.

Figura 3.32 Cableado de entradas y salidas.



Cableado de los periféricos de entrada y salida. (Pérez & Cofre)

### **Cableado del sistema de potencia**

Las conexiones del sistema de potencia se realizaron con las especificaciones del Anexo 7. Consta de una línea trifásica a 220VAC la cual se conectó a un breaker de

tres polos situado en la parte superior del tablero, las salidas del breaker se conectan a las entradas de un interruptor trifásico para controlar el encendido y apagado del variador de frecuencia que controla al motor, las salidas del interruptor van por medio de canaletas hacia las entradas (R, S, T) del variador SV037IG5-2 y las salidas (U, V, W) del variador se conectan al motor de la batidora a través de un conector trifásico industrial, el cableado se lo realizó a través de canaletas destinadas únicamente para alta tensión y el resultado se lo puede observar dentro de la Figura 3.33.

Figura 3.33 Cableado del sistema de potencia.



Cableado del sistema de potencia. (Pérez & Cofre)

Dentro del sistema de potencia se ha considerado un breaker de dos polos que se muestra en la Figura 3.34 para protección de una electroválvula que controla la temperatura de la máquina, dos líneas entran al breaker para suministrar energía al dispositivo mientras que un relé controlado por el PLC AC500 PM554 es el encargado de controlar su accionamiento.

Figura 3.34 Protección de la electroválvula.



Control y protección de la electroválvula. (Pérez & Cofre)

El calibre del conductor, así como los equipos de protección utilizados dentro del sistema de potencia fueron dimensionados según las especificaciones del fabricante de cada uno de los equipos.

Para garantizar que la temperatura de funcionamiento de los equipos no exceda a lo recomendado por el fabricante dentro del diseño se consideró un sistema de ventilación forzada, se instaló un ventilador en la parte superior en el interior del tablero para que evacue el aire caliente generado por el funcionamiento de los equipos, en la Figura 3.35 se puede observar el resultado de la instalación del ventilador. El ventilador fue instalado exactamente sobre el variador de frecuencia según lo recomendado por el manual del variador puesto que es el dispositivo con mayor tendencia al sobrecalentamiento debido a la potencia que maneja.

Figura 3.35 Ventilador extractor.



Extractor del aire caliente en el interior del tablero. (Pérez & Cofre)

Para mantener un constante flujo de aire en el interior del tablero también se instaló un ventilador en la parte inferior para que trabaje en conjunto con el ventilador de la parte superior, debido a que el tablero se encuentra en un ambiente caliente no se pudo instalar un ventilador directamente en el tablero puesto que ingresaría aire caliente aumentando la temperatura en el interior en lugar de disminuirla, para poder ingresar aire fresco se realizó una perforación en la pared y del otro lado se instaló el ventilador como se muestra en la Figura 3.36.

Figura 3.36 Ventilador.



Ventilador para ingresar aire fresco al tablero. (Pérez & Cofre)

El aire ingresa al tablero por medio de una tubería instalada para dicho propósito como se puede observar en la Figura 3.37, los ventiladores se encienden juntamente con el sistema de control y cuentan con filtros para evitar el ingreso de polvo e insectos que se sienten atraídos por la miel del turrón.

Figura 3.37 Tubería de ventilación.



Tubería para el flujo de aire en el interior del tablero. (Pérez & Cofre)

Para evitar que las gotas de agua producidas por la condensación del vapor proveniente del caldero ingresen al interior del tablero por el ventilador de la parte superior se contemplaron dos tapas protectoras de acrílico, la primera se muestra en la Figura 3.38 y tiene como objetivo impedir totalmente el ingreso de cualquier partícula de agua al interior del tablero cuando la máquina se encuentre apagada.

Figura 3.38 Protección con el sistema apagado.



Tapa protectora para cuando el sistema se encuentre apagado. (Pérez & Cofre)

En la Figura 3.39 se muestra la segunda tapa que tiene como objetivo impedir el ingreso de gotas de agua, pero también de permitir la evacuación del aire caliente del interior del tablero, a esta tapa se la debe usar durante el funcionamiento de la máquina.

Figura 3.39 Protección con el sistema encendido.



Tapa protectora para cuando el sistema se encuentre encendido. (Pérez & Cofre)

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 Pruebas de funcionamiento del sistema

La validación de funcionamiento del sistema instalado se realizó en dos etapas que son: validación del sistema de control y validación del sistema de potencia.

La comprobación del montaje de los equipos se realizó utilizando las especificaciones de la Tabla 4.1 la cual se basó en las normas IEC 60439-1.

Tabla 4.1 Comprobación del montaje de los equipos e instrumentos.

PARÁMETROS	RESULTADO	
<b>Montaje del tablero y demás equipos.</b>		
Comprobar que el tablero cumpla con las normas de protección para el ambiente en el que se lo va a ubicar, por lo menos IP65.		
Comprobar que los equipos que van al exterior del tablero tengan el grado de protección necesario para el ambiente en el que serán ubicados por lo menos el mismo grado de protección que el tablero.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
Verificar que el tablero sea de un material adecuado para el lugar en el que se lo va a instalar (acero inoxidable para alimentos).		
Verificar la correcta sujeción del tablero hacia la pared, así como la correcta sujeción de los equipos hacia el tablero (plafón).		
Verificar que los equipos de maniobra están instalados a una altura segura que permita su manipulación por parte del operador.	R	<input type="checkbox"/>
Verificar que los equipos internos tengan la ventilación necesaria para su correcto funcionamiento. Conectar correctamente los sensores y separar los cables de instrumentación de los cables de potencia.		

Continuación de Tabla 4.1 Comprobación del montaje de los equipos e instrumentos.

PARÁMETROS	RESULTADO	
<b>Identificación de los cables y equipos.</b>		
Verificar que los cables y los equipos ubicados en el interior y el exterior estén correctamente identificados según el diseño propuesto.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
Comprobar que las borneras están correctamente identificadas y dimensionadas para el trabajo que van a realizar.		
Comprobar que los equipos externos estén identificados con etiquetas distintivas para cada uno de ellos.	R	<input type="checkbox"/>

A=Aprobado, R=Reprobado.

Para evaluar el conexionado de los cables se siguieron las especificaciones de la Tabla 4.2 en donde se detallan los puntos a considerar en la evaluación.

Tabla 4.2 Comprobación del conexionado del tablero.

PARÁMETROS	RESULTADO	
<b>Conexión</b>		
Comprobar que las conexiones se hayan realizado según las especificaciones de los planos de construcción.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Protecciones</b>		
Comprobar el correcto dimensionamiento de los elementos de protección.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Terminales de conexión.</b>		
Comprobar que en la construcción se hayan reservado borneras, entradas y salidas en los equipos de control para futuras conexiones.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Cables</b>		
Verificar que los cables estén atornillados o sujetos firmemente y que exista continuidad entre los puntos de conexión.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>

A=Aprobado, R=Reprobado.

Para evaluar el estado de los equipos se debe realizar las pruebas sin energía en el sistema siguiendo las especificaciones de la Tabla 4.3 en donde se detallan los puntos a evaluar.

Tabla 4.3 Comprobación del estado de los equipos.

PARÁMETROS	RESULTADO	
<b>Accionamiento</b> Comprobar que los interruptores funcionen correctamente sin dificultad o inconveniente alguno.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Protecciones</b> Comprobar manualmente que los breakers se accionen correctamente.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Conectores.</b> Verificar que los conectores tengan continuidad en todos sus terminales y que la conexión sea fija.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Ventilación</b> Verificar manualmente que los ventiladores giren libremente sin dificultad.	A	<input type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>

A=Aprobado, R=Reprobado.

#### 4.1.1 Pruebas de validez del sistema de control

Después de comprobar el correcto estado de los equipos para verificar el funcionamiento del sistema de control se debe energizar el sistema y seguir las especificaciones de la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Comprobación del sistema de control.

PARÁMETROS	RESULTADO	
<b>Encendido</b> Comprobar que todos los equipos del sistema de control se enciendan correctamente.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Funcionamiento</b> Comprobar que cada uno de los equipos funciona según el programa de usuario.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Comunicación.</b> Comprobar que la comunicación entre los equipos es correcta según el protocolo aplicado.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Accionamiento</b> Comprobar que las entradas y salidas de los equipos de control se accionen según el programa especificado.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>

A=Aprobado, R=Reprobado.

#### 4.1.2 Pruebas de validación del sistema de potencia

Después de comprobar el correcto funcionamiento del sistema de control se energizó el sistema de potencia y se siguieron las especificaciones de la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Comprobación del sistema de potencia.

PARÁMETROS	RESULTADO	
<b>Encendido</b> Comprobar que todos los equipos del sistema de potencia se enciendan correctamente.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Funcionamiento</b> Comprobar que cada uno de los equipos de potencia funciona según el diseño propuesto.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Comunicación.</b> Comprobar que la comunicación entre los equipos es correcta según el protocolo aplicado (los que se comunican a través de un protocolo).	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>

A=Aprobado, R=Reprobado.

Antes de probar el sistema con la producción fue necesario evaluar los parámetros de funcionamiento según las especificaciones de la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Comprobación de los parámetros de funcionamiento.

PARÁMETROS	RESULTADO	
<b>Temperatura</b> Comprobar que las medidas de temperatura son correctas en base a un termómetro maestro.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Velocidad</b> Comprobar que las revoluciones por minuto son exactas.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Tiempo</b> Verificar de manera manual con un cronómetro que el tiempo transcurrido y el tiempo programado son correctos.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>
<b>Interfaz</b> Verificar que la interfaz permita la configuración y control de los parámetros de funcionamiento.	A	<input checked="" type="checkbox"/>
	R	<input type="checkbox"/>

A=Aprobado, R=Reprobado.

El plan de pruebas validado por la empresa que comprueba el funcionamiento del sistema implementado de manera correcta.

## **4.2 Pruebas de producción del nuevo sistema**

A continuación, se muestra las pruebas de producción realizadas con los dos modos de operación que ofrece el nuevo sistema de control instalado: modo manual y modo automático.

### **4.2.1 Pruebas en modo manual**

Al no disponer de una receta exacta, para comprobar el funcionamiento del modo manual se basó en la experiencia del operador para llegar a los parámetros adecuados de preparación del turrón, por medio del panel de operador se ingresaron los valores de temperatura, velocidad y tiempo como se muestra en la Figura 4.1, y de esta manera se inició con el proceso de batido.

Figura 4.1 Configuración de los parámetros de funcionamiento.



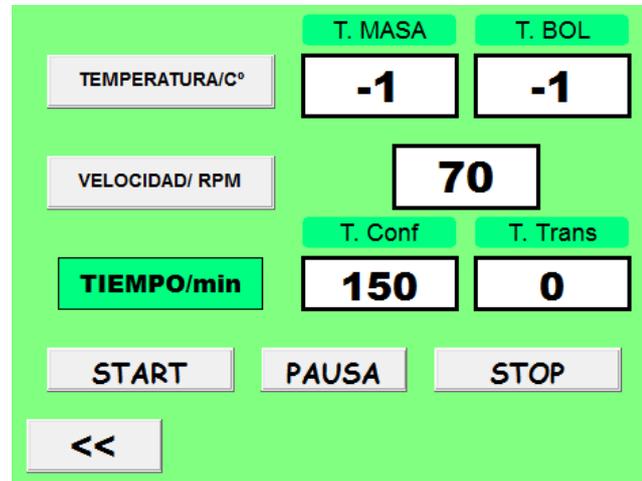
Configuración de los parámetros de funcionamiento a través del panel de operador. (Pérez & Cofre)

Para la primera prueba se configuró en el panel de operador una temperatura inicial de 105 ° C, una velocidad de 70 RPM y un tiempo de batido de 150 minutos como se muestra en la Figura 4.2.

Al ser un primer acercamiento con el sistema el operador, supervisó los parámetros durante todo el proceso de batido teniendo como primera instancia una serie

variaciones de valores en los tres parámetros y de esta manera llegar a garantizar el correcto estado de la masa de turrón.

Figura 4.2 Configuración de la máquina para la primera prueba.



Configuración de los parámetros de funcionamiento de la máquina para la primera prueba. (Pérez & Cofre)

### Turrón de maní

Para comprobar la temperatura de la masa y tener un valor aproximado se hizo uso de un termómetro infrarrojo para no tener contacto directo con el producto y no interferir en el proceso como se puede observar en la Figura 4.3.

Figura 4.3 Toma de muestras de la primera prueba.



Tomas de muestras de la temperatura en la masa de turrón con un termómetro infrarrojo. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 4.7 se presentan las muestras de los parámetros de funcionamiento en la máquina con respecto a la primera prueba de producción en modo manual, turrón de miel de abeja con maní.

Tabla 4.7 Prueba en modo manual número 1 turrón de maní.

<b>Temp. Masa</b>	<b>Temp. Bol</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
54	105	70	0
70	108	65	4
70	115	65	42
71	115	65	77
74	122	65	80
76	125	54	82
84	143	3	122

Parámetros de funcionamiento turrón de maní, prueba número 1 realizada el 13 de octubre del 2017. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 3.13 se observan numerosas variaciones en las medidas de temperatura y en las revoluciones por minuto de la máquina con una notable disminución del tiempo de batido comparado a los procesos con el sistema anterior. Las variaciones se atribuyen al reconocimiento del sistema por parte del operador hasta conseguir la temperatura y la velocidad idóneas para el batido del turrón.

El tiempo de batido inicialmente configurado en 150 minutos concluyó a los 122 minutos después de los cuales inició el proceso de mezclado del maní a una velocidad de 1 RPM a 100 ° C en el bol. En el Anexo 8 se detallan todas las pruebas realizadas en modo manual en donde se puede observar la variación de los parámetros de preparación, la sintaxis de las pruebas se muestra en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Sintaxis de las pruebas realizadas.

<b>N.º Prueba</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Temperatura</b>
1	122	54-70	105-143
2	109	55-70	80-133
3	79	63 y 65	90-105
4	92	63 y 65	90 y 100

Resultado de las pruebas realizadas en modo manual. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 4.8 se puede observar una creciente estabilización en los parámetros de funcionamiento de la máquina. El tiempo de batido llega a tener un promedio de 100 minutos, aproximadamente 50 minutos menos que con el anterior sistema de control, la velocidad de 65 revoluciones por minuto se considera como ideal para el batido del turrón y a una velocidad de 1 RPM para el mezclado del maní, la temperatura de preparación en los 50 primeros minutos de batido se estabiliza en 90 ° C en el bol, e incrementa a aproximadamente a 100 ° C superados los 50 minutos.

Después que se terminó el batido de la masa de turrón en el bol y el operador terminó con el proceso de moldeado del turrón, la máquina entró al proceso de limpieza donde se llenó de agua el bol como se muestra en la Figura 4.4 y se lo calentó a 50°C con una velocidad de 10 RPM durante un tiempo de 20 minutos para limpiar los restos de masa de turrón que quedaron adheridos a las paredes del bol, finalizado el tiempo programado el sistema de control implementado de la máquina baja la velocidad a 1 RPM, el operador detuvo la máquina en su totalidad con el botón STOP y configuró la temperatura a 0 ° C para que el bol se enfrié mientras retiraba el agua y se limpia manualmente los restos de la masa de turrón que el agua no pudo sacar, después de limpiar la máquina se apagaron los sistemas y se registró la primera prueba.

Los parámetros de configuración para el proceso de limpieza de la máquina dependen de la cantidad de residuos de la masa de turrón en el bol y la dureza que tengan, si los residuos están fríos habrá que configurar una temperatura mayor por un periodo de tiempo más largo para poder retirarlos.

Figura 4.4 Limpieza de máquina.



Bol lleno de agua para su limpieza. (Pérez & Cofre)

## Turrón de macadamia

El turrón de macadamia tiene un proceso diferente al turrón maní, primero se prepara el azúcar con la miel hasta que se disuelva por completo todos los granos de azúcar, proceso que tiene que ser supervisado por el operador debido a que diferencia entre la calidad del azúcar influye significativamente en el tiempo de disolución de la misma, una vez que el azúcar se haya disuelto por completo se procede a colocar los huevos y empieza el proceso de batido.

En la Tabla 4.9 se observan las mediciones de los parámetros obtenidas de la primera prueba del sistema en la producción de turrón de macadamia.

Tabla 4.9 Prueba número 1 turrón de macadamia.

Temp. Masa	Temp. bol	Velocidad (RPM)	Tiempo(min)
60	80	60	0
33	81	60	10
71	95	60	14
56	100	65	19
84	115	70	22
80	115	70	30
45	65	50	52
75	100	65	0
65	100	65	10
83	110	70	15
70	110	70	20
84	115	70	35
71	110	70	42
78	113	10	52

Parámetros de funcionamiento turrón de macadamia, prueba número 1. Realizada el 27 de octubre del 2017. (Pérez & Cofre)

Los parámetros de funcionamiento de la máquina presentados en la Tabla 4.9 muestran una aproximación a los de la Tabla 4.7 perteneciente a los parámetros de batido para la preparación del turrón de maní.

La preparación de la azúcar se la hizo a una velocidad de 65 RPM a una temperatura promedio de 90 ° C por un tiempo de 52 minutos, disueltos todos los granos de azúcar se colocaron los huevos y empezó el proceso de batido con todos los ingredientes.

Las pruebas realizadas del modo manual para el turrón de macadamia se encuentran en el Anexo 8. En la Tabla 4.10 se muestra la sintaxis de las pruebas del sistema para el turrón de macadamia.

Tabla 4.10 Sintaxis de las pruebas realizadas.

N.º Pruebas	Mezcla de azúcar			Mezcla de todos los ingredientes		
	Tiempo (min)	Velocidad (RPM)	Temperatura	Tiempo (min)	Velocidad (RPM)	Temperatura
2	52	50-70	80 y 115	52	65 y 70	100-115
3	26	63 y 65	80 y 85	50	65 y 70	90

Sintaxis de los parámetros de configuración para turrón de macadamia. (Pérez & Cofre)

De la Tabla 4.10 se puede observar que la velocidad se mantiene en un promedio de 65 revoluciones por minuto durante todo el proceso de batido de la masa, la temperatura del bol se mantiene en un promedio 90°C para la disolución de la azúcar y en promedio a 100°C para el batido de la masa, el tiempo de disolución de la azúcar no es constante debido a la influencia de la calidad de la azúcar, así como de la miel. El tiempo de batido sin contar el tiempo de disolución de la azúcar mantiene un promedio de 50 minutos.

#### 4.2.2 Pruebas en modo automático

El modo automático que ofrece el sistema de control instalado se basó en las pruebas realizadas en modo manual, de las que se obtuvieron los parámetros de funcionamiento y se los configuró en una receta como se muestra en la Figura 4.5.

Figura 4.5 Configuración automática del sistema.



Parámetros de funcionamiento de la máquina en modo automático. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 4.11 se muestran los valores configurados en la receta automática para turrón de maní.

Tabla 4.11 Prueba número 1 modo automático turrón de maní.

Temp. Masa	Temp. HMI	Temp. bol	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
72	68	90	0	3
71	68	90	65	5
79	68	90	65	10
68	68	90	65	15
67	66	90	65	20
65	66	90	65	25
67	66	90	65	30
64	66	90	65	35
64	62	90	65	40
73	72	105	65	45
73	72	105	65	50
71	72	105	65	55
66	68	105	65	60
66	68	105	65	65
66	68	105	65	70
70	68	105	65	75
77	78	105	65	80
79	78	105	65	85
66	68	105	65	90
66	68	105	1	93

Parámetros de funcionamiento en modo automático. Realizada el 9 de noviembre del 2017. (Pérez & Cofre)

En la Tabla 4.11 se puede observar un control estable de la temperatura, 90 ° C en los primeros 50 minutos y 105 ° C el tiempo restante, el cambio de temperatura lo realiza el PLC para mantener la receta obtenida de las pruebas. La velocidad se mantiene constante en 65 revoluciones por minuto durante todo el proceso de batido, finalizado el tiempo la máquina disminuyó la velocidad a 1 RPM y el operador empezó con el proceso de mezclado del maní, el tiempo total de batido fue de 93 minutos, después se empezó el proceso de mezclado del maní durante 5 minutos, después el operador empezó con el proceso de moldeado del turrón, proceso que lo realiza mientras la máquina sigue funcionando, controlando la temperatura y la velocidad para evitar que la masa se enfríe y se endure.

Dentro del Anexo 8 también se encuentran las pruebas del sistema en modo automático cuya sintaxis se encuentra dentro de la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 Sintaxis de las pruebas realizadas de modo automático.

N.º Prueba	Tiempo(min)	Velocidad (RPM)	Temperatura
1	93	65	90 y 105
2	92	65	90 y 100

Parámetros de las pruebas del sistema en modo automático. (Pérez & Cofre)

El sistema operó con los parámetros configurados en la receta y a los 50 minutos de batido incremento la temperatura de la máquina, finalizado el tiempo de batido la máquina redujo la velocidad a 1 RPM y encendió la luz de alarma.

Para calcular la temperatura de la masa se realizó un estimado de la temperatura del bol con respecto al tiempo, sin un sensor la temperatura de la masa posee un porcentaje de error mismo que se muestra en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Cálculo de error de la temperatura de la masa.

Temp. Masa	Temp. HMI	% ERROR
72	68	5,9
71	68	4,4
69	68	1,5
68	68	0,0
67	66	1,5
65	66	1,5
67	66	1,5
64	66	3,0
64	62	3,2
73	72	1,4
71	72	1,4
66	68	2,9
70	68	2,9
77	78	1,3
79	78	1,3
66	68	2,9

Cálculo del error de la medida de la temperatura de la masa. (Pérez & Cofre)

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Con la caracterización de la máquina para batir turrón se determinó las variables del proceso (temperatura, tiempo y velocidad angular del motor) y las falencias del sistema utilizado, lo que permitió realizar un diseño óptimo para el correcto control de las variables de funcionamiento.

El sistema de protecciones diseñado e implementado cumple con normas y estándares de calidad eléctrica y electrónica, que cuenta con un sistema visual de alarmas lo que asegura que el sistema estará protegido ante cualquier falla del sistema.

La interfaz Humano máquina o HMI implementado es sencillo de entender y fácil de utilizar por parte de los operarios y técnicos lo que evita errores de manipulación minimizando las paradas del sistema de batido por emergencia optimizando el proceso de producción.

Las pruebas realizadas con el sistema de control implementado comprobaron la linealidad de la termocupla en el rango de trabajo durante el tiempo de preparación lo que facilitó su control.

Dependiendo del tipo de turrón a preparar, las pruebas de producción realizadas mejoraron el tiempo de preparación hasta un 40% al garantizar los parámetros de funcionamiento exactos.

El desarrollo del sistema de control implementado para mejorar el sistema de batido de turrón en la empresa el Salinerito cumple con los objetivos planteados de mejorar la producción y ofrece la opción de manejar una receta exacta y probar nuevas recetas.

#### 5.2 Recomendaciones

Colocar más sensores de temperatura en la máquina para poder garantizar con exactitud la lectura de la temperatura de la masa ya que el sensor que la máquina posee únicamente permite la lectura de la temperatura del bol.

Realizar un sistema aislante dentro del área donde se encuentra la máquina batidora para evitar las pérdidas de temperatura por radiación y aprovechar la mayor cantidad de temperatura en el bol para el proceso de preparación del turrón.

Delimitar el área de trabajo con simbología de seguridad industrial y normas de protección para garantizar la integridad del operador y o visitantes.

Implementar un sistema de refrigeración para mejorar el control de la temperatura en la máquina y poder enfriarla de manera inmediata en caso de ser necesario.

Seguir una receta exacta para la elaboración del turrón con parámetros preestablecidos, para no perder las ventajas del control automático que ofrece el nuevo sistema de control.

Seguir las indicaciones del manual de usuario para el correcto uso y mantenimiento del sistema para garantizar la durabilidad y el buen funcionamiento del mismo.

## REFERENCIAS

- ABB, G. (2009). *Plataforma de automatización escalable AC500 Modbus RTU*. Germany. Obtenido de [http://www.infopl.net/files/descargas/abb/infoPLC\\_net\\_PS501\\_V2\\_0\\_Modbus\\_RTU.pdf](http://www.infopl.net/files/descargas/abb/infoPLC_net_PS501_V2_0_Modbus_RTU.pdf)
- ABB, G. (agosto de 2010). *Data Sheet Technical Information AC500-eCo: your PLC from ABB*. Germany. Obtenido de ABB: <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC125098B0202&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch&DocumentRevisionId=A>
- ABB, G. (2011). *CP600-WEB Start Up Instructions*. Germany. Obtenido de <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC159011M0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB, G. (2013). *Control Panels CP630 with MicroBrowser*. Germany. Obtenido de [https://library.e.abb.com/public/deed2434ae119344c1257c210039f337/3ADR059033M0201\\_MicroBrowser\\_WEB.pdf](https://library.e.abb.com/public/deed2434ae119344c1257c210039f337/3ADR059033M0201_MicroBrowser_WEB.pdf)
- ABB, G. (2014). *Guía rápida de introducción PLC eCo*. Germany. Obtenido de [https://library.e.abb.com/public/4b398d211e3748ae8badeb145ae79a19/Guia\\_PLC\\_eCo\\_V4.pdf](https://library.e.abb.com/public/4b398d211e3748ae8badeb145ae79a19/Guia_PLC_eCo_V4.pdf)
- ABB, G. (13 de Diciembre de 2016). *Operating instructions Control Panels CP600, CP620-x, CP620-x-WEB, CP630-x, CP630-x-WEB*. Germany. Obtenido de ABB: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3ADR059030M0204&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=>
- Areny, R. P. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal* (4ta ed.). Barcelona: MARCOMBO.
- Cengel, Y. L., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. México: McGraw-HI11.
- GmbH, S. 3. (2003). *User Manual for PLC Programming with CoDeSys 2.3*. Kempten. Obtenido de [https://www.parkermotion.com/manuals/Hauser/Compax3/CoDeSys\\_Manual\\_V2p3.pdf](https://www.parkermotion.com/manuals/Hauser/Compax3/CoDeSys_Manual_V2p3.pdf)
- Guerrero, V., Yuste, R., & Martínez, L. (2009). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Alfaomega-MARCOMBO.
- INC, R. I. (Enero de 2013). *REX-C100/C400/C410/C700/C900 INSTRUCTION MANUAL*. Obtenido de [https://www.rkcinst.co.jp/english/pdf\\_manual/imnzc22e1.pdf](https://www.rkcinst.co.jp/english/pdf_manual/imnzc22e1.pdf)
- LG, I. S. (2003). *LG variable Frequency Drive*. Barcelona. Obtenido de <http://lghautomation.vn/upload/news/43524719.pdf>

- Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. (26 de Abril de 2012). Obtenido de Modbus:  
[www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf)
- Modbus Over Serial Line V1.02*. (20 de Diciembre de 2006). Obtenido de Modbus:  
[www.modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02](http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02)
- Nievas, C. (2010). *Automatización Industrial*. Santiago. Obtenido de [www.cec.uchile.cl/~cnievas/Docencia/DUOC/AI/AI\\_C9.pp](http://www.cec.uchile.cl/~cnievas/Docencia/DUOC/AI/AI_C9.pp)
- Perez, E., Acevedo, J., Silva, C., & Quiroga, J. (2009). *Automatas programables y sistemas de automatización*. Barcelona: MARCOMBO.
- Pérez, L., & Cofre, D. (2017). *Tablas Batidor*. Quito: UPS.
- WEG. (2012). *Manual de Comunicación Modbus-RTU*. Obtenido de <http://www.weg.net/files/products/WEG-srw01-manual-de-la-comunicacion-modbus-rtu-10000521680-4.0x-manual-espanol.pdf>.

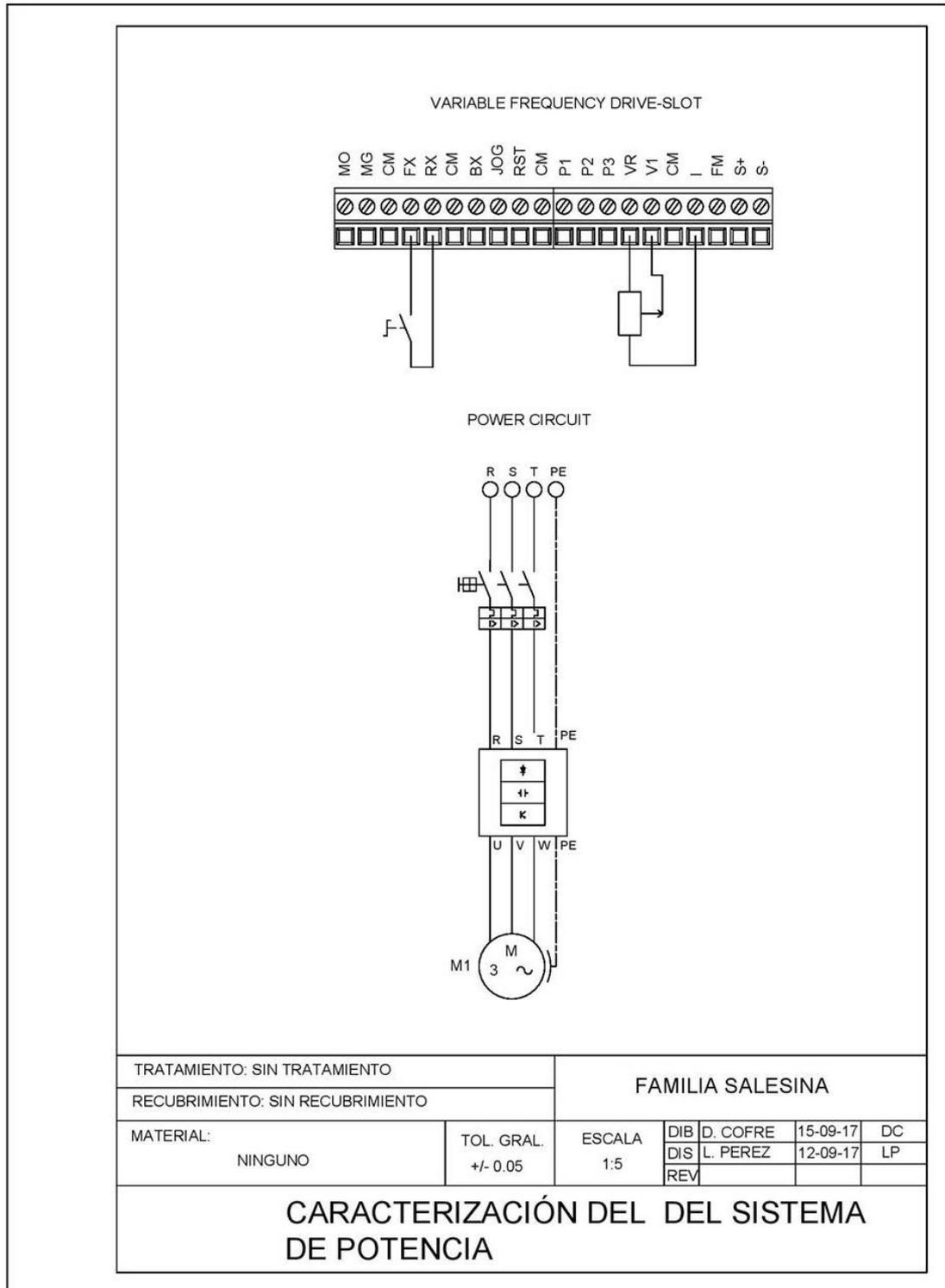
## ANEXOS

### Anexo 1. Configuraciones del variador de frecuencia.

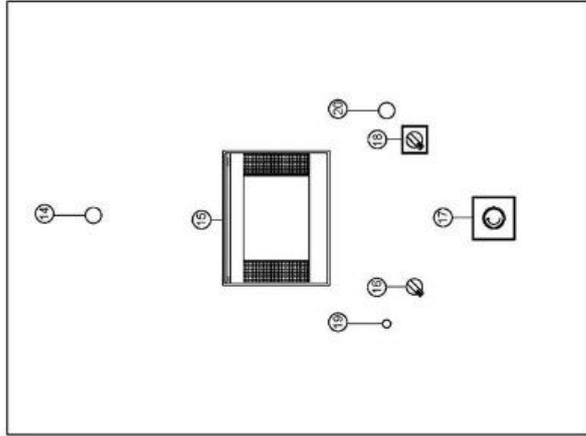
<b>DRIVE GROUP</b>		
<b>CÓDIGO</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>RANGO</b>
<b>DRV-00</b>	Frecuencia de salida	0.00Hz
<b>DRV-01</b>	Tiempo de aceleración	0 – 99 seg
<b>DRV-02</b>	Tiempo de desaceleración	0 – 99 seg
<b>DRV-03</b>	Modo de operación	0 (Teclado) 1 (Fx/Rx-1) 2 (Fx/Rx-2) 3 (RS485)
<b>DRV-04</b>	Modo de Frecuencia	0 (Teclado-1) 1 (Teclado-2) 2 (V1) 3 (I) 4 (V1+1) 5 (RS485)
<b>DRV-13</b>	Dirección de giro del motor	F (Delante) r (Reversa)
<b>Function Group 1 [FU1]</b>		
<b>FU1-03</b>	Prevención de movimiento	0 (Ninguno) 1(Delante) 2 (Reversa)
<b>FU1-05</b>	Patrón de aceleración	0 (Lineal) 1 (S-Curva) 2 (U-Curva) 3 (Mínimo) 4 (Optimo)
<b>FU1-06</b>	Patrón de desaceleración	0 (Lineal) 1 (S-Curva) 2 (U-Curva) 3 (Mínimo) 4 (Optimo)
<b>FU1-07</b>	Modo de parada	0 (Decel) 1 (DC-Brake) 2 (Free-Run)
<b>FU1-20</b>	Frecuencia Máxima	50/60 Hz
<b>FU1-21</b>	Base de Frecuencia	50/60 Hz

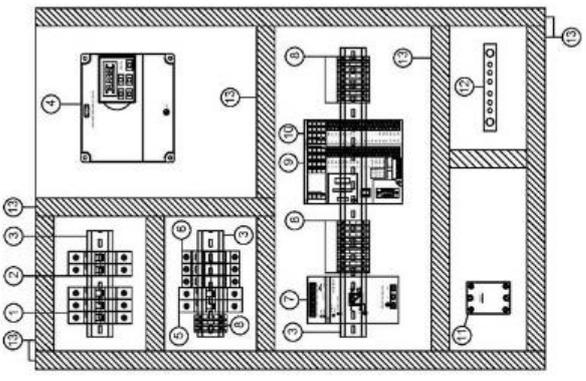
<b>FU1-22</b>	Frecuencia Inicial	0.10 – 10.00 Hz
<b>FU1-24</b>	Límite bajo de Frecuencia	0.00
<b>FU1-25</b>	Límite alto de Frecuencia	50/60 Hz
<b>FU1-29</b>	Relación Volts/Hz	0 (Lineal) 1 (Cuadrada) 2 (User V/F)
<b>Input/Output Group [I/O]</b>		
<b>I/O-02</b>	Mínimo voltaje de entrada V1	0.00 [V]
<b>I/O-03</b>	Frecuencia al voltaje mínimo V1	0.00[Hz]
<b>I/O-04</b>	Voltaje de entrada máximo V1	0.00 – 10.00 [V]
<b>I/O-05</b>	Frecuencia al voltaje máximo V1	50/60 [Hz]
<b>I/O-07</b>	Corriente mínima de entrada I	0.00 [mA]
<b>I/O-08</b>	Frecuencia correspondiente a la I mínima	0.00 [Hz]
<b>I/O-09</b>	Corriente máxima de entrada I	24.00 [mA]
<b>I/O-10</b>	Frecuencia correspondiente a la I máxima	50/60 [Hz]
<b>I/O-46</b>	Número del Inversor	1 - 31
<b>I/O-47</b>	Baud Rate	0 (1200 bps) 1 (2400 bps) 2 (4800 bps) 3 (9600 bps) 4 (19200 bps)
<b>I/O-48</b>	Operación en pérdida de Frecuencia	0 (Ninguna) 1 (Libre) 2 (Parada)
<b>I/O-49</b>	Tiempo de espera para Frecuencia perdida	0.1 – 120 [sec]
<b>I/O-50</b>	Protocolo de Comunicación	0 (LG – Bus ASCII) 7 (Modbus RTU)

Anexo 2 Plano de caracterización del sistema de potencia



### Anexo 3 Diseño del tablero de control

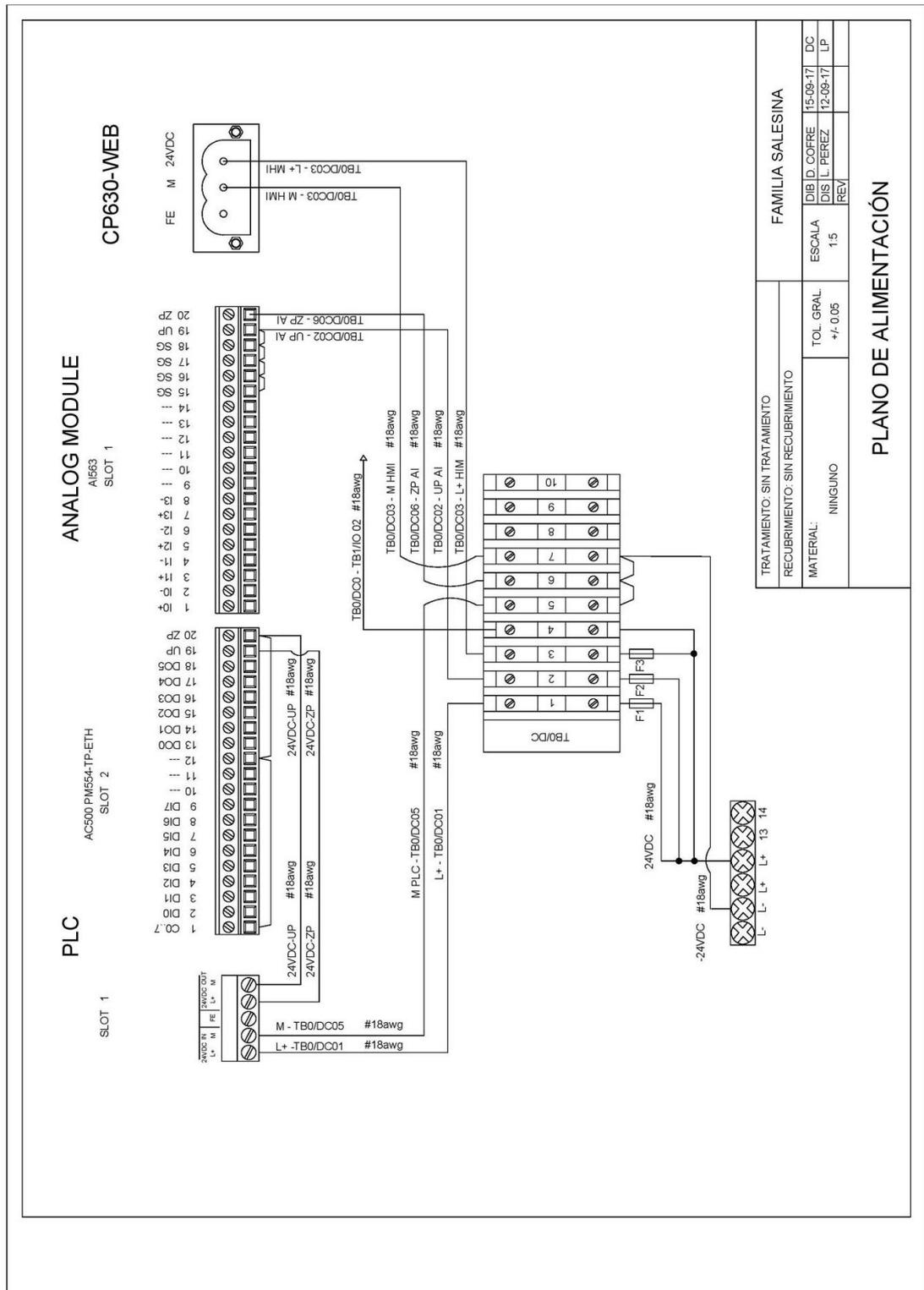




MATERIALS			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	PART N°
1	1	Breaker 3 pole 40A 240V	Dixson
2	1	Breaker 2 pole 40A 240V	CAMSCO
3	—	2m to DIN rail	ABB
4	1	Variable frequency drive	RIE-ACER-35-1M
5	2	Breaker 1 pole 6A 110V	LG
6	3	Fuse 1 pole 1A 110V	Dixson
7	1	Power supply 24VDC 5A	ABB
8	14	Terminal block 1x2 5/6	ABB
9	1	PLC AC500 FM554-ETH	ABB
10	1	Analog module AI553	ABB
11	2	Relay	—
12	1	Ground bar	—
13	—	Wire tray	CAMSCO
14	2	Pilot Light 24VDC	CAMSCO
15	1	Control panel, CP630-WEB	ABB
16	1	Switch on/off 110v	ABB
17	2	Emergency stop	Dixson
18	1	Switch on/off 220V trifásico	DB4-BS542_DIX
19	1	Pilot Light 220VAC/22mm	CAMSCO
20	1	Pilot Light 110VAC/16mm	CAMSCO

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		FAMILIA SALESINA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO		ESCALA	15-09-17 DC
MATERIAL:	NINGUNO	TOL. GRAL	DIS L. PEREZ 12-09-17 LP
		±/ 0.05	REV
<b>DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL PARA LA BATIDORA DE TURRON</b>			

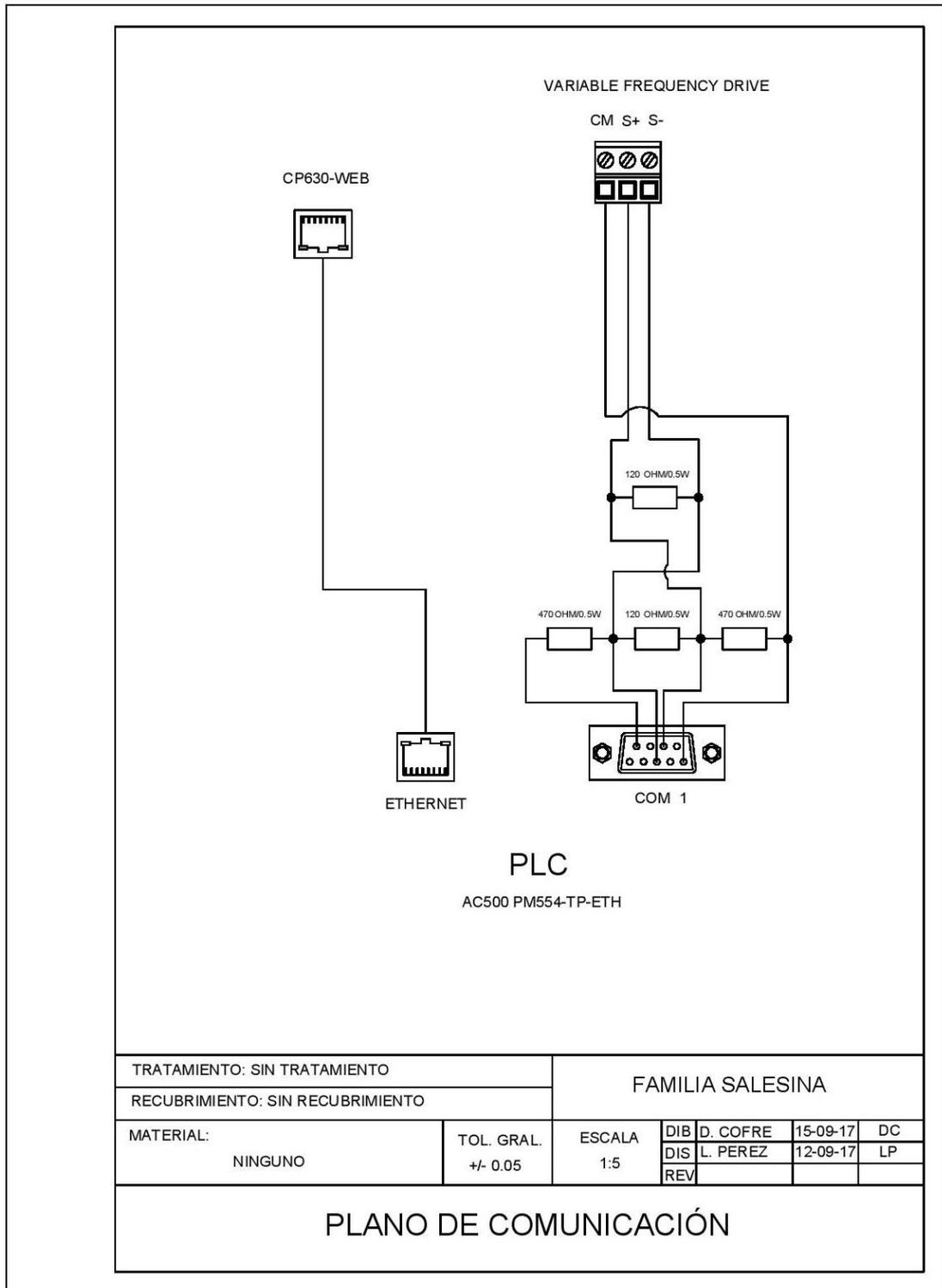
# Anexo 4. Plano de Alimentación.



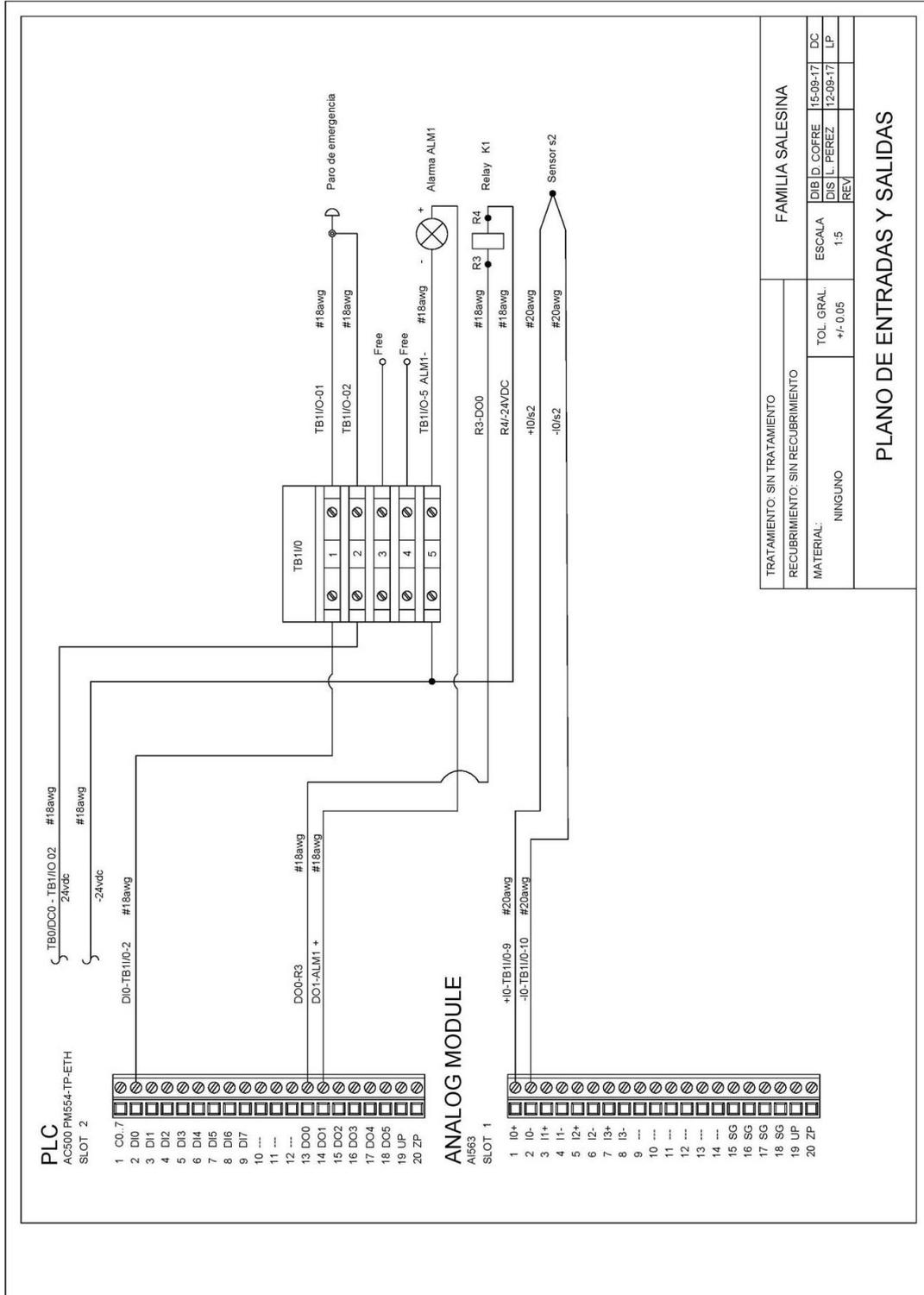
TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		FAMILIA SALESINA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO		DIB.D. COFRE	
MATERIAL: NINGUNO		ESCALA	15-08-17
		TOL. GRAL.	DC
		+/- 0.05	DIS L. PEREZ
		1:5	REV

## PLANO DE ALIMENTACIÓN

Anexo 5. Plano de Comunicación.

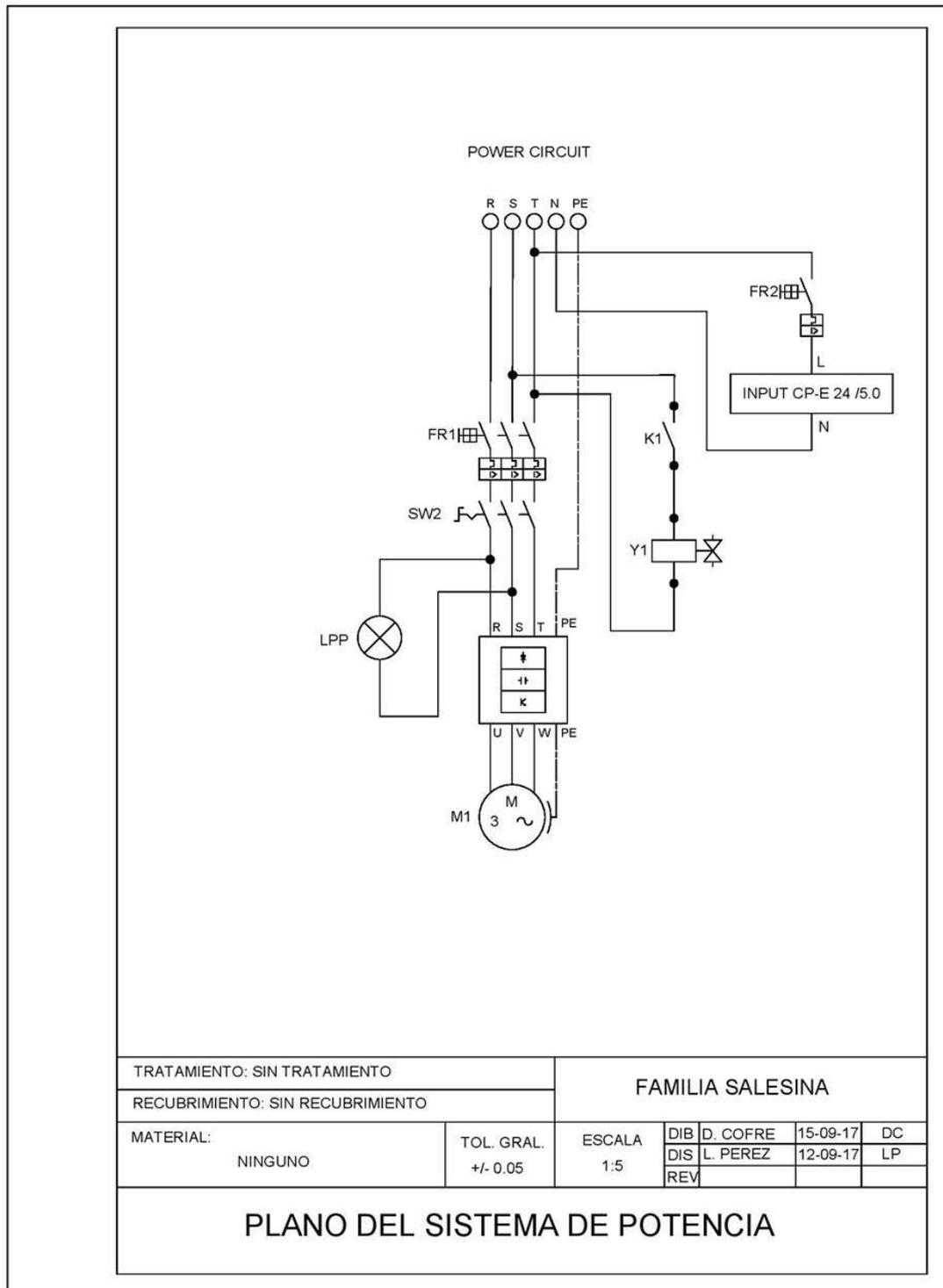


Anexo 6. Plano de entradas y salidas.



TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO	FAMILIA SALESINA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO	ESCALA	DIB ID	15-08-17
MATERIAL: NINGUNO	TOL GRAL: +f-0.05	DIS L PEREZ	12-09-17
		REV	1.5
<b>PLANO DE ENTRADAS Y SALIDAS</b>			

Anexo 7. Plano de potencia del sistema instalado.



## Anexo 8 Pruebas de producción sin el sistema implementado

### Prueba número 1

Temp. Pirómetro	Frecuencia (Hz)	Tiempo (min)	Comentarios
120	35	0	Inicio de batido
120	35		
118	34		
118	33	45	Cambio de revoluciones
100	33		
115	33	90	
115	33		
100	35	123	
100	28		
75	28	138	Cambio de temperatura
75	30		
80	31	150	
110	2	152	Colocación del maní

### Prueba número 2

Temp. Pirómetro	Frecuencia (Hz)	Tiempo (min)	Comentarios
160	31	0	Inicio de batido
155	31		
148	31		
148	28	61	Cambio de revoluciones
148	23		
141	28	90	Cambio de revoluciones
137	28		
135	28		
128	28		
120	15	100	Cambio de temperatura
120	31		
111	11		
108	11		
104	28		
98	32	120	
110	3	125	Ingreso de maní

### Prueba número 3

Temp. Pirómetro	Frecuencia (Hz)	Tiempo (min)	Comentarios
95	30	0	Inicio de batido
97	30	20	Cambio de temperatura
97	34		
97	37	40	
100	37		
120	38	50	Cambio de revoluciones
150	38		
165	30	100	Cambio de temperatura
165	30		
100	33	120	Cambio de temperatura
90	30		
90	28		
90	25	140	
110	2	148	Colocación del Maní

## Anexo 9 Pruebas de producción con el sistema implementado

### Modo Manual

#### Prueba número 2 turrón de maní.

Temp. Masa	Temp. Bol	Velocidad (RPM)	Tiempo(min)
23	30	65	0
60	80	65	2
94	125	70	3
83	110	65	5
71	110	65	30
80	110	60	36
77	112	60	45
53	112	60	60
87	133	55	70
67	133	55	72
67	133	55	85
65	133	55	90
80	133	55	105
56	100	5	109

Realizada el 20 de octubre del 2017

#### Prueba número 3 turrón de maní.

Temp. Masa	Temp. bol	Velocidad (RPM)	Tiempo(min)
71	95	63	0
78	100	63	13
68	90	65	18
67	90	65	21
60	90	65	31
51	90	65	42
69	100	65	48
60	105	65	57
75	105	65	67
74	105	3	79

Realizada el 4 de noviembre 2017.

#### Prueba número 4 turrón de maní.

Temp. Masa	Temp. bol	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
74	90	63	0
74	90	65	10
74	90	65	16
69	90	65	21
69	90	65	26
69	90	65	31
66	90	65	36
64	90	65	41
60	90	65	51
57	90	65	56
55	90	65	61
56	100	65	62
60	100	65	66
65	100	65	71
65	100	65	76
70	100	65	81
77	100	65	86
78	100	65	92

Realizada el 6 de noviembre del 2017.

#### Prueba número 2 turrón de Macadamia.

Temp. Masa	Temp. bol	Velocidad (RPM)	Tiempo(min)
55	80	65	0
55	80	65	5
70	85	65	10
75	85	65	15
75	85	65	20
75	85	65	25
56	85	63	26
65	100	70	0
72	90	65	5
77	90	65	10
78	90	65	15
79	90	65	20
79	90	65	25
62	90	65	50

Realizada el 10 de noviembre del 2017.

Anexo 10 Manual de usuario.

El siguiente manual está destinado al sistema de control de la máquina batidora de turrón de la Empresa el Salinerito.

## FÁBRICA DE CONFITES EL SALINERITO



## “MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA BATIDORA DE TURRÓN”

### AUTORES:

DANNY COFRE

LUCERO PÉREZ



GUARANDA, NOVIEMBRE DEL 2017

## INDICE

<b>1. ENCENDIDO DEL SISTEMA .....</b>	<b>75</b>
<b>2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA .....</b>	<b>76</b>
2.1 MODO MANUAL.....	76
a. Configuración de la temperatura. ....	77
b. Configuración de la Velocidad. ....	77
c. Configuración del Tiempo.....	78
2.2 MODO AUTOMÁTICO.....	79
<b>3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....</b>	<b>80</b>
3.1 MANTENIMIENTO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO .....	80
3.2 LIMPIEZA .....	80
3.3 EN CASO DE FALLO.....	82
<b>4. INSTRUCCIONES DE USO PARA LA PRODUCCIÓN .....</b>	<b>82</b>
4.1 BATIDO DE TURRÓN.....	82
4.2 LIMPIEZA DE LA MÁQUINA .....	83

# MANUAL DE USUARIO

El presente manual está dirigido para las personas que siguieron el curso de capacitación para el uso del sistema de control de la batidora de turrón, en él se detallan las instrucciones para el correcto uso de la máquina.

## ENCENDIDO Y FUNCIONAMIENTO DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL DE LA BATIDORA DE TURRÓN

### 1. ENCENDIDO DEL SISTEMA

a) Para poner en funcionamiento la máquina primero se debe encender el SISTEMA DE CONTROL accionando el switch ubicado en lado izquierdo del tablero etiquetado con el nombre “SW CONTROL” mismo que se muestra en la Figura 1, a su vez se encenderá la luz piloto que indica que el sistema está energizado. Seguidamente se ejecutará el programa de usuario, se debe esperar hasta que en el panel de operador se despliegue la pantalla de inicio de la Figura 2 indicando que el sistema de control está listo.

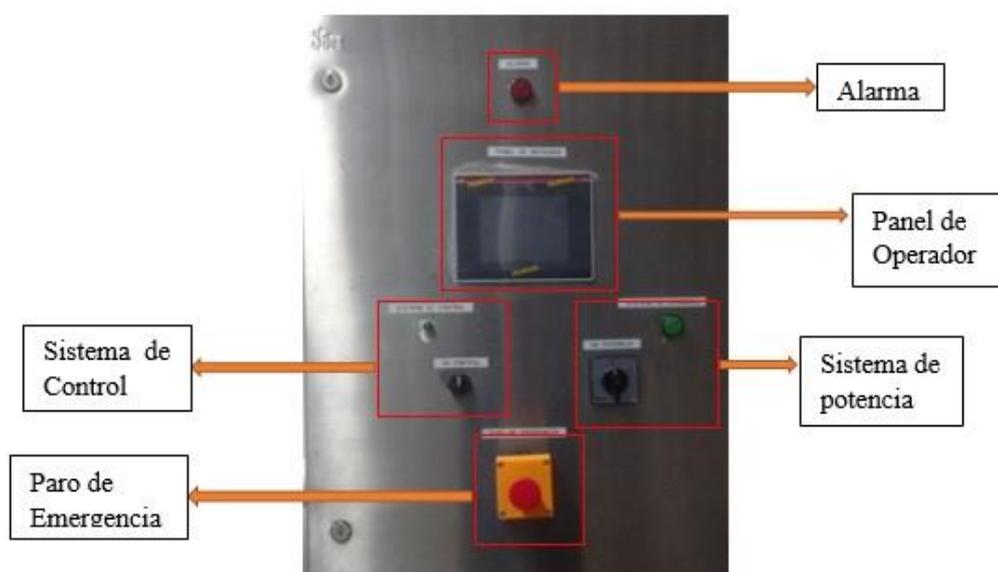


Figura 1. Partes del Tablero de Control de la batidora de Turrón.

b) Una vez que se ha encendido el sistema de control y SOLO cuando esté listo para trabajar se puede encender el SISTEMA DE POTENCIA accionando el interruptor trifásico con el nombre “SW POTENCIA” ubicado en el lado derecho del tablero mismo que se muestra en la Figura 1. Seguidamente se encenderá el variador de frecuencia y todo el sistema de la batidora estará listo para operar, la luz que acompaña al interruptor trifásico indica la presencia de energía en el sistema.



Figura 2. Pantalla de inicio.

## 2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El nuevo sistema de control de la batidora ofrece dos modos de operación: manual y automático.

### 2.1 MODO MANUAL

Al presionar el botón MANUAL se desplegará la pantalla de control de la Figura 3 en la cual se presentan todos los parámetros de control y funcionamiento de la batidora como: temperatura, velocidad, tiempo y botones de control.

Los objetos de color gris situados en el lado superior izquierdo de la pantalla son botones que direccionarán hacia una nueva pantalla en donde se podrán configurar cada uno de los parámetros. Los recuadros blancos situados en el lado superior derecho de la pantalla indican los valores a los que la máquina se encuentra funcionando mientras que los recuadros grises situados en la parte inferior de la pantalla son botones de accionamiento que cumplan con la función que indica su nombre.



Figura 3. Elementos de la pantalla de control.

### a. Configuración de la Temperatura

Para configurarla se debe presionar el botón **TEMPERATURA#6** de la pantalla de control, seleccionar el recuadro de la izquierda y digitar el dato por teclado, si se requiere un dato rápido se puede utilizar los botones de incremento o decremento situados en el lado derecho que se muestran en las Figura 4.

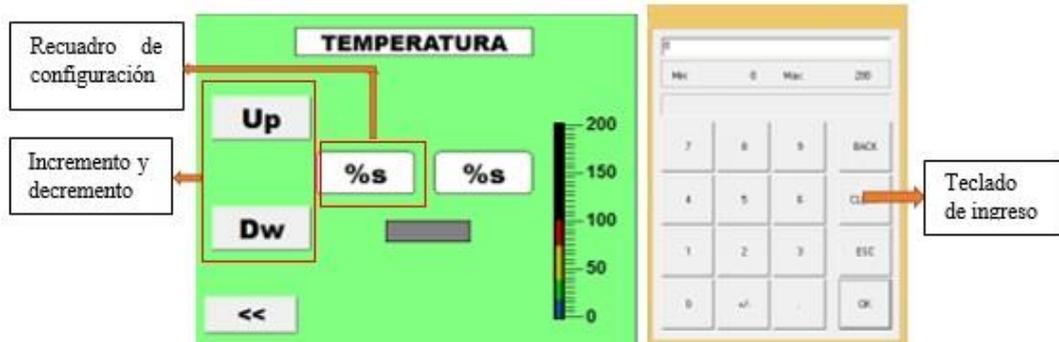


Figura 4. Controles de la pantalla de configuración de la temperatura.

El recuadro situado al lado derecho y el termómetro muestran la temperatura leída por la termocupla ubicada en el bol.

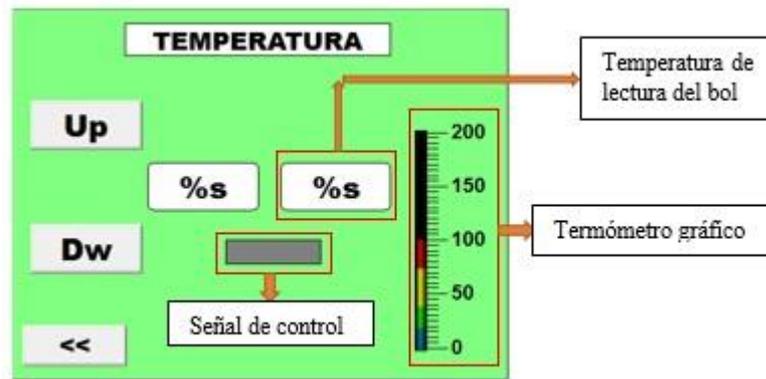


Figura 5. Indicadores de la pantalla de configuración de la temperatura.

### b. Configuración de la velocidad

Para configurar la velocidad de la máquina se debe presionar el botón **VELOCIDAD#7** seguidamente se desplegará la pantalla de velocidad.

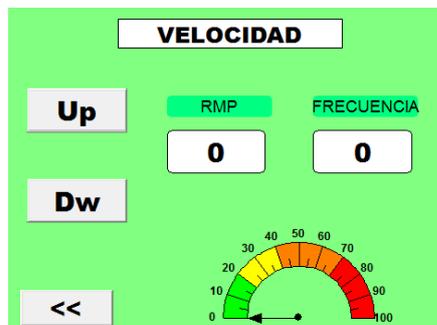


Figura 6. Pantallas de configuración de la velocidad.

Para configurarla se debe seleccionar el recuadro de la izquierda y digitar el dato por teclado o si se desea un dato rápido se puede utilizar los botones del lado izquierdo de la pantalla los cuales tienen una variación de cinco unidades por cada pulso.



Figura 7. Controles de la pantalla de configuración de la velocidad.

El recuadro del lado derecho de la pantalla muestra la frecuencia a la que el variador tendrá que trabajar para obtener el número de RPM solicitado por el usuario. El acelerómetro situado en la parte inferior de la pantalla ofrece una representación gráfica de la velocidad configurada.



Figura 8. Indicadores de la pantalla de configuración de la velocidad.

### c. Configuración del tiempo

Para configurar el tiempo se debe seleccionar el recuadro de la izquierda ubicado al frente del cuadro de texto **TIEMPO #10** en la pantalla de control y digitar el dato por teclado. El tiempo se lo configura en minutos, el recuadro del lado derecho indica el tiempo transcurrido y únicamente inicia cuando se presiona el botón START.

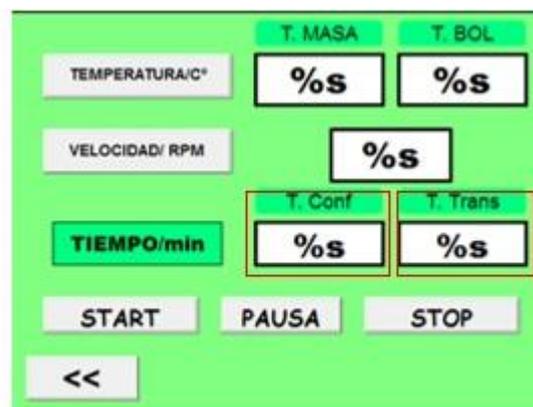


Figura 9. Configuración del Tiempo.

## 2.2 MODO AUTOMÁTICO

Al presionar el botón **AUTOMATICO** se desplegará la pantalla de la Figura 110 en donde se dan dos opciones de recetas indicadas con su nombre y también con su imagen:

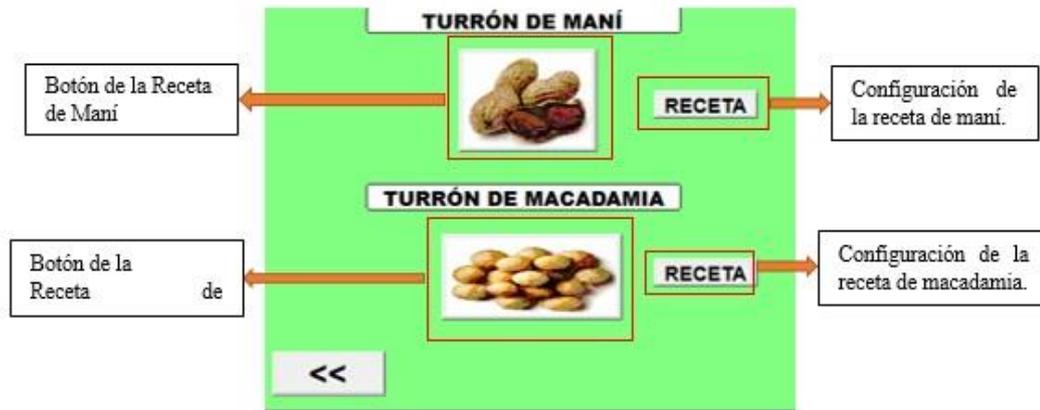


Figura 10. Modo Automático.

Al presionar las imágenes inmediatamente se cargarán los parámetros de la receta en la pantalla de control, pero al presionar los botones **RECETA** se visualizará una pantalla de configuración que se muestra en la Figura 11 en donde se deben guardar todos los parámetros de cada receta. Seleccionada la receta para poner en funcionamiento la máquina únicamente hay que presionar el botón **START**.

La pantalla de configuración tiene un fondo verde y un título 'RECETA TURRÓN DE MANÍ'. Hay tres secciones de configuración, cada una con un campo de texto a la izquierda y dos botones de configuración a la derecha. Los valores de los campos de texto son '0'.  
1. Sección 'TEMPERATURA/C°':  
- Botón 'Temp. Conf' (encendido)  
- Botón 'T. Conf' (encendido)  
2. Sección 'VELOCIDAD/RPM':  
- Botón 'V. Conf' (encendido)  
- Botón 'T. Conf' (encendido)  
3. Sección 'TIEMPO/min':  
- Botón 'Tiem. Conf' (encendido)  
- Botón 'T. Conf' (encendido)  
En la parte inferior izquierda, hay un botón con el símbolo '<<'.

Figura 11. Configuración de la receta.

Finalizado el tiempo de batido el sistema bajará automáticamente la velocidad de la máquina a 1 revolución por minuto y se encenderá la ALARMA ubicada en la parte superior del tablero de control indicando el fin del proceso para que el operador retire la masa del bol y empiece con el proceso de moldeado de la masa. Para detener el motor se debe presionar el botón **STOP**.

### 3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El siguiente manual de mantenimiento está apto para proporcionar la ayuda técnica con respecto al mantenimiento preventivo para reducir fallos futuros y paradas imprevistas de los equipos dentro del tablero de control para la máquina batidora de turrón en la empresa El Salinerito. El mantenimiento se debe llevar a cabo solo por personal autorizado y que ha sido capacitado para que pueda realizar con mayor responsabilidad.

#### 3.1 MANTENIMIENTO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

- a. Revisión de selector de control “SW CONTROL”, revisión cada 3 meses.
- b. Revisión de selector de potencia “SW POTENCIA”, cada 3 meses.
- c. Verificación del botón “PARO DE EMERGENCIA”, cada 2 meses.
- d. Revisión de los cables de la termocupla por motivos de exposición al ambiente húmedo de trabajo, cada 3 meses.
- e. Revisar en el sistema que no exista cables quemados dentro del tablero de control y los cables que se encuentran en la parte externa.
- f. Comprobar que los breakers de protección no se encuentren desactivados para control y de potencia.
- g. Inspeccionar que los fusibles de protección se encuentren en buen estado para que el sistema de control tenga eficiencia y funcionamiento idóneo.
- h. Finalizado con el respectivo mantenimiento registrarlo en el tarjetero que se encuentra en el interior del tablero.

*Nota: El mantenimiento “ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO” está destinado para el jefe de mantenimiento de la empresa El Salinerito.*

#### 3.2 LIMPIEZA

- a. Limpieza de la parte externa tablero con alcohol para resguardar la protección IP66 del tablero, hacerlo después de cada uso.
- b. Limpieza de la parte interior del tablero por ingreso de polvo y suciedad para evitar que los equipos tenga residuos dentro de las placas electrónicas y ventilaciones, se debe realizar cada 2 meses.
- c. Limpieza del Panel de operador con alcohol para evitar residuos de alimentos que impidan el control del batido en la siguiente producción, realizarlo después cada producción.

d. En los “SW CONTROL”, “SW POTENCIA” y “PARO DE EMERGENCIA”, limpiar los residuos de comida en el caso de que haya sido manipulado con las manos sucias después del uso del sistema.



a)

b)



c)

d)

Figura 12. a) Limpieza del SW POTENCIA

b) Limpieza del SW Control

c) Limpieza del PARO DE EMERGENCIA

d) Limpieza del Panel de Operador

e. Cambio de filtros, del extractor ubicado en la parte superior del tablero y del ventilador colocado en la parte lateral izquierda, cada 6 meses, dependiendo del estado del filtro

f. Limpieza del tubo de entrada de aire por la parte del ventilador, por posibles residuos de impurezas ingresados en su interior.

g. Limpieza de los equipos internos, y del interior del tablero con una franela que no deje residuos de lana.

### 3.3 EN CASO DE FALLO

- a. Si el sistema de control no funciona, revisar que no hayan cables sueltos o en cortocircuito, después de comprobar los cables revisar que el breaker de protección se encuentra activado y encender el sistema, comprobar que el led indicador de energía de la fuente se encienda, revisar los fusibles que estén en buen estado caso contrario cambiarlos por unos nuevos, comprobar que se enciendan los leds indicadores de energía del PLC y del módulo AI563.
- b. Si no hay comunicación entre el sistema de control y panel de operador muestra el mensaje de la Figura 13, revisar el estado del cable de comunicación del panel y cambiarlo si se encuentra en mal estado, si la comunicación no se reestablece cambiar el cable a otro puerto del panel, comprobar que se enciendan los leds indicadores de los puertos Ethernet del PLC y del panel de operador.



Figura 13. Error de comunicación en el panel de operador.

- c. Si el sistema de potencia no funciona revisar que el breaker de protección de 3 polos este activado, en segunda instancia revisar que los cables de las tres líneas (R S T) se encuentren conectados correctamente a los breakers (guiarse en los planos entregados a la empresa). Si el panel de operador escribe el dato de velocidad, pero el variador no la actualiza, revisar el cable de comunicación y cambiarlo de ser necesario.
- d. Al no solucionar el problema de los ítems anteriores llamar al técnico.

## 4. INSTRUCCIONES DE USO PARA LA PRODUCCIÓN

### 4.1 BATIDO DE TURRÓN

- a. Primero se debe cambiar la tapa del extractor por el techo protector.
- b. Encender el sistema de control con el switch “SW CONTROL”.
- c. Encender el sistema de potencia con el interruptor “SW POTENCIA” SOLO después que el sistema de control este estable.
- d. Precalentar la máquina a 80° C por tres minutos.
- e. Seleccionar el modo de operación.
- f. Colocar los ingredientes para la preparación del turrón, si el modo de operación seleccionado fue manual continúe al paso 7, si el modo de operación seleccionado fue automático saltar al paso 10.
- g. Configurar la Temperatura de cocción de la masa a 90° C.

- h. Configurar la velocidad de batido en 65 revoluciones por minuto.
- i. Configurar el tiempo de batido a 90 minutos.
- j. Presionar el botón START.
- k. Finalizado el tiempo de batido retirar la masa del interior del bol.

#### 4.2 LIMPIEZA DE LA MÁQUINA

- a. Llenar de suficiente agua el bol.
- b. Configurar la temperatura de la máquina a 50°C.
- c. Configurar la velocidad a 5 revoluciones por minuto.
- d. Configurar el tiempo a 20 minutos.
- e. Presionar el botón START.
- f. Finalizado el tiempo retirar el agua del bol.
- g. Apagar el sistema de potencia.
- h. Apagar el sistema de control solo cuando el sistema de potencia ya se haya apagado por completo.
- i. Limpiar con un paño el panel de operador y el tablero.
- j. Cambiar el techo protector por la tapa del extractor.